



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 030 392 A1** 2006.01.19

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2004 030 392.4

(22) Anmeldetag: 23.06.2004

(43) Offenlegungstag: 19.01.2006

(51) Int Cl.⁸: **G01F 1/84** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Endress + Hauser Flowtec AG, Reinach,
Basel-Landschaft, CH**

(74) Vertreter:

Andres, A., Pat.-Anw., 79576 Weil am Rhein

(72) Erfinder:

**Rieder, Alfred, Dr., 84032 Landshut, DE; Drahm,
Wolfgang, Dr., 85435 Erding, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu
ziehende Druckschriften:

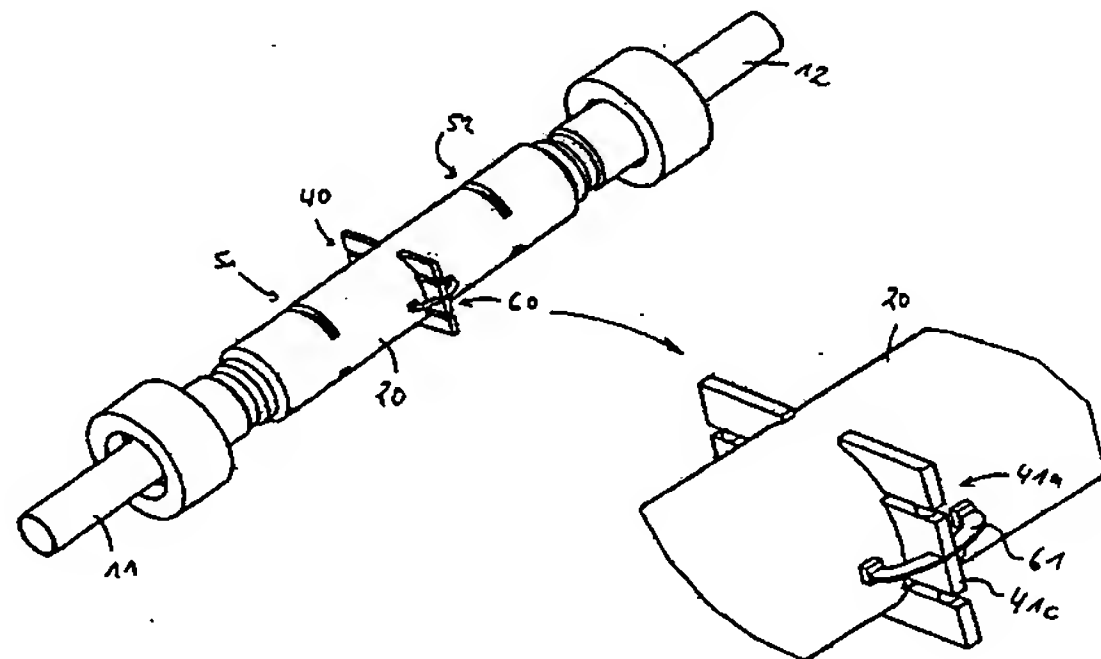
DE 100 20 606 A1
US2002/01 74 730 A1
US 64 87 917 B1
US 41 09 524
EP 07 59 542 A1
EP 10 55 101 B1
WO 01/27 565 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Meßwandler vom Vibrationstyp**

(57) Zusammenfassung: Zum Führen eines Fluids weist der Messwandler ein in einem Trägerelement (20) schwingfähig eingespanntes, im Betrieb vibrierendes Messrohr (10) auf. Das Messrohr (10) führt im Betrieb, angetrieben von einer Erregeranordnung (40), zumindest anteilig solche Biege-Schwingungen um eine Schwingungsachse aus, dass es überwiegend eine Schwingungsform mit wenigstens drei Biege-Schwingungsbäuchen einnimmt. Einlassseitige und auslassseitige Schwingungen werden mittels einer Sensoranordnung (50) erfasst. Ferner ist im Messwandler eine mit Messrohr (10) und Trägerelement (20) verbundene Koppleranordnung (60) mit wenigstens einem mit dem vibrierenden Messrohr (10) und dem Trägerelement (20) mechanisch, insb. feder-elastisch, wechselwirkenden Koppel-element (61) vorgesehen. Durch geeignete Wahl der wirksamen Federsteifigkeit, c_{60} , der Koppleranordnung (60) können mittels dieser solche Querkräfte kompensiert werden, die im Betrieb, beispielsweise aufgrund schwankender Fluidichte, seitens des vibrierenden Messrohrs (10) erzeugt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen, insb. für eine Verwendung in einem Coriolis-Massedurchflußmesser geeigneten, Meßwandler vom Vibrationstyp.

[0002] Zur Ermittlung eines Massedurchflusses eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids, insb. einer Flüssigkeit, werden oftmals solche Meßgeräte verwendet, die mittels eines Meßwandlers vom Vibrationstyp und einer daran angeschlossener Steuer- und Auswerteelektronik, im Fluid Corioliskräfte bewirken und von diesen abgeleitet ein den Massedurchfluß repräsentierendes Meßsignal erzeugen.

[0003] Solche Coriolis-Massedurchflußmesser sind seit langem bekannt und im industriellen Einsatz etabliert. So sind z.B. in der DE-A 39 16 285, der EP-A 317 340, der EP-A 518 124, der EP-A 1 207 375, der US-A 48 23 614, der US-A 52 91 792, der US-A 53 98 554, der US-A 54 76 013, der US-A 55 31 126, der US-A 56 91 485, US-A 57 05 754, der US-A 57 96 012, der US-A 59 45 609, der US-A 59 79 246, US-A 60 06 609, der US-B 62 23 605, der US-B 64 84 591, der WO-A 99 51 946, WO-A 99 40 394 oder der WO-A 00 14 485 Coriolis-Massedurchflußmesser mit jeweils einem Meßwandler vom Vibrationstyp beschrieben, welcher Meßwandler auf einen Massedurchfluß eines in einer Rohrleitung strömenden Fluids reagiert und welcher Meßwandler umfaßt:

- ein einziges gebogenes oder gerades, im Betrieb vibrierendes Meßrohr zum Führen des Fluids, welches Meßrohr über ein einlaßseitig einmündendes Einlaßrohrstück und über ein auslaßseitig einmündendes Auslaßrohrstück mit der Rohrleitung kommuniziert,
- ein einlassseitig und auslassseitig am Messrohr fixiertes Trägerelement sowie
- eine Erregeranordnung, die das Meßrohr im Betrieb überwiegend zu Biegeschwingungen in einer Rohrbene anregt, sowie
- eine Sensoranordnung zum punktuellen Erfassen einlaßseitiger und auslaßseitiger Schwingungen des Meßrohrs.

[0004] Vibrierende Meßrohre von solchen Messaufnehmern bewirken bekanntlich – angeregt zu lateralen Biegeschwingungen um eine das Einlassende und das Auslassende verbindende gedachte Schwingungsachse – im hindurchströmenden Fluid Corioliskräfte. Diese wiederum führen dazu, daß den angeregten Biegeschwingungen im sogenannten Nutzmode koplanare Biegeschwingungen gemäß einer zweiten Eigenschwingungsform von höherer und/oder niederer Ordnung, dem so genannten Coriolismode, überlagert werden und dementsprechend die mittels der Sensoranordnung einlaßseitig und auslaßseitig erfaßten Schwingungen eine auch vom Massedurchfluß abhängige, meßbare Phasendifferenz aufweisen.

[0005] Üblicherweise werden die Meßrohre derartiger, z.B. in Coriolis-Massedurchflußmessern eingesetzten, Meßwandler im Betrieb auf einer momentanen Resonanzfrequenz einer natürlichen Eigenschwingungsform, insb. bei konstantgeregelter Schwingungsamplitude, angeregt. Da diese Resonanzfrequenz insb. auch von der momentanen Dichte des Fluids abhängig ist, kann mittels marktüblicher Coriolis-Massedurchflußmesser neben dem Massedurchfluß auch die Dichte von strömenden Fluiden gemessen werden.

[0006] Ein wesentlicher Nachteil vorbeschriebener Meßwandler besteht darin, daß aufgrund wechselseitiger lateraler Auslenkungen des überwiegend im Nutzmode vibrierenden einzigen Meßrohrs gleichfrequent oszillierende Querkräfte auf die Rohrleitung wirken können und daß diese Querkräfte nur mit einem sehr hohen technischen Aufwand von der Dichte des zu messenden Mediums unabhängig kompensiert werden können.

[0007] Zur Verbesserung der dynamischen Balance des Meßwandlers, insb. zur Reduzierung solcher durch das vibrierende einzige Meßrohr erzeugten, einlaßseitig und auslaßseitig auf die Rohrleitung einwirkenden Querkraften, umfassen die in der EP-A 317 340, der US-A 53 98 554, der US-A 55 31 126, der US-A 56 91 485, der US-A 57 96 012, US-A 59 79 246 oder der WO-A 00 14 485 gezeigten Meßwandler jeweils wenigstens einen einstückigen oder mehrteilig ausgeführten Gegenschwinger, der jeweils einlaßseitig und auslaßseitig am Meßrohr fixiert ist. Derartige balkenförmig, insb. rohrförmig, oder als mit dem Meßrohr fluchtendes Körperpendel realisierte Gegenschwinger schwingen im Betrieb zum jeweiligen Meßrohr außer Phase, insb. gegenphasig, wodurch die Wirkung der durch Meßrohr und Gegenschwinger jeweils hervorgerufenen seitlichen Querkräfte auf die Rohrleitung minimiert und ggf. auch völlig unterdrückt werden können.

[0008] Derartige Meßwandler mit Gegenschwinger haben sich insb. bei solchen Anwendungen bewährt, bei denen das zu messende Fluid eine im wesentlich konstante oder nur in einem sehr geringen Maße veränderliche Dichte aufweist, also bei solchen Anwendungen, bei denen eine auf die angeschlossene Rohrleitung wirkende Resultierende aus den vom Meßrohr erzeugten Querkraften und vom Gegenschwinger erzeugten Ge-

genkräften vorab ohne weiteres auf Null fest eingestellt werden kann.

[0009] Demgegenüber weist ein derartiger Meßwandler, insb. gemäß der US-A 59 69 265, bei Anwendung für Fluide mit in einem weiten Bereich schwankender Dichte, z.B. verschiedenen, aufeinanderfolgend zu messenden Fluiden, wenn auch in geringerem Maße, praktisch den gleichen Nachteil wie ein Meßwandler ohne Gegenschwinger auf, da vorgenannte Resultierende der Querkräfte auch von der Dichte des Fluids abhängig sind und somit in erheblichem Maße von Null verschieden sein können. Anders gesagt, auch ein aus Meßrohr und Gegenschwinger bestehendes Gesamtsystem wird im Betrieb aufgrund von dichteabhängigen Unbalancen und damit einhergehenden Querkräften aus einer zugewiesenen statischen Ruhelage global ausgelenkt.

[0010] Weitere Möglichkeiten auch zur dichteunabhängigen Reduzierung solcher Querkräfte sind z.B. in der US-A 55 31 126, in der WO-A 99 40 394 oder in der WO-A 00 14 485 vorgeschlagen.

[0011] Im besonderen ist in der WO-A 00 14 485 ein Meßwandler vom Vibrationstyp für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid beschrieben, welcher Meßwandler umfaßt:

- ein in den Verlauf der Rohrleitung eingesetztes, im Betrieb zumindest zeitweise vibrierendes Meßrohr zum Führen des Fluids,
- ein an einem Einlassende und an einem Auslassende des Messrohrs fixiertes erstes, insb. gleichfalls vibrierendes, Trägerelement,
- eine elektro-mechanische Erregeranordnung zum Erzeugen einer das Meßrohr vibrierenlassenden zeitlich veränderlichen Erregerkraft,
- eine Sensoranordnung zum Erfassen von Schwingungen des Meßrohrs, sowie
- eine mit Messrohr und Trägerelement verbundene Koppleranordnung mit zwei mit dem vibrierenden Messrohr und dem Trägerelement elektromechanisch wechselwirkenden Koppelementen zum Erzeugen von Ausgleichs-Schwingungen,
- wobei das Messrohr im Betrieb mittels der Erregeranordnung zumindest zeitweise zu einem Schwingungsmodus angeregt ist,
- in dem es solche Biege-Schwingungen um eine das Einlassende und das Auslassende des Messrohrs imaginär verbindende Schwingungsachse ausführt, dass es überwiegend eine Schwingungsform mit einem einzigen Biege-Schwingungsbauch einnimmt, und
- in dem es infolge von dabei erzeugten Querkräften zumindest zeitweise aus einer zugewiesenen statischen Ruhelage lateral verschoben ist, und
- wobei die Ausgleichs-Schwingungen der Koppelemente so ausgebildet und am Messrohr angeordnet sind, daß die erzeugten Querkräfte kompensiert werden und somit ein Massenmittelpunkt eines aus Meßrohr, Erregeranordnung, Sensoranordnung und den beiden Auslegern gebildeten Schwingungssystems ortsfest gehalten wird.

[0012] Ferner ist in der WO-A 99 40 394 ein Meßwandler vom Vibrationstyp für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid beschrieben, welcher Meßwandler umfaßt:

- ein in den Verlauf der Rohrleitung eingesetztes, im Betrieb zumindest zeitweise vibrierendes Meßrohr zum Führen des Fluids,
- wobei das Meßrohr über ein in das Einlassende einmündendes erstes Verbindungsrohrstück und über ein in das Auslassende einmündendes, mit dem ersten Verbindungsrohrstück und mit der Schwingungsachse fluchtendes zweites Verbindungsrohrstück mit der Rohrleitung kommuniziert,
- ein an einem Einlassende und an einem Auslassende des Messrohrs fixiertes, als gleichfalls vibrierender Gegenschwinger ausgebildetes erstes Trägerelement,
- ein als Wandler-Gehäuse ausgebildetes zweites Trägerelement,
- eine elektro-mechanische Erregeranordnung zum Erzeugen einer das Meßrohr vibrierenlassenden zeitlich veränderlichen Erregerkraft,
- eine Sensoranordnung zum Erfassen von Schwingungen des Meßrohrs, sowie
- eine mit Messrohr, den beiden Trägerelementen sowie den Verbindungsrohrstücken verbundene Koppleranordnung mit zwei jeweils am vibrierenden Messrohr, den beiden Trägerelement sowie den Verbindungsrohrstücken fixierten Koppelementen zum Übertragen von Ausgleichs-Kräften in das Wandlergehäuse,
- wobei das Messrohr im Betrieb mittels der Erregeranordnung zumindest zeitweise zu einem Schwingungsmodus angeregt ist,
- in dem es solche Biege-Schwingungen um eine das Einlassende und das Auslassende des Messrohrs imaginär verbindende Schwingungsachse ausführt, dass es überwiegend eine Schwingungsform mit einem einzigen Biege-Schwingungsbauch einnimmt,
- wobei die beiden Koppelemente der Koppleranordnung derart mit dem Messrohr und den Trägerele-

ment mechanisch gekoppelt sind, daß jedes der beiden jeweils in einem Bereich eines gemeinsamen Schwingungsknoten von Messrohr und Gegenschwinger zur Wirkung gelangt, und

- wobei eine durch die Koppelemente bestimmte, zwischen Messrohr und Wandlergehäuse wirksame, konstante Federsteifigkeit der Koppleranordnung so hoch gewählt ist, daß die Koppleranordnung in einer Wirkrichtung der Querkkräfte im wesentlichen als starrer Körper wirkt.

[0013] Darüber hinaus ist in der US-A 55 31 126 ein Meßwandler vom Vibrationstyp für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid gezeigt, welcher Meßwandler umfaßt:

- ein in den Verlauf der Rohrleitung eingesetztes, im Betrieb zumindest zeitweise vibrierendes Meßrohr zum Führen des Fluids,
- ein an einem Einlassende und an einem Auslassende des Messrohrs fixiertes erstes, insb. gleichfalls vibrierendes, Trägerelement,
- eine elektro-mechanische Erregeranordnung zum Erzeugen einer das Meßrohr vibrierenlassenden zeitlich veränderlichen Erregerkraft,
- eine Sensoranordnung zum Erfassen von Schwingungen des Meßrohrs, sowie
- eine mit Messrohr und Trägerelement verbundene Koppleranordnung mit einem mit dem vibrierenden Messrohr und dem Trägerelement elektromechanisch wechselwirkenden Koppelement,
- wobei das Messrohr im Betrieb mittels der Erregeranordnung zumindest zeitweise zu einem Schwingungsmoden angeregt ist,
- in dem es solche Biege-Schwingungen um eine das Einlassende und das Auslassende des Messrohrs imaginär verbindende Schwingungsachse ausführt, dass es überwiegend eine Schwingungsform mit einem einzigen Biege-Schwingungsbauch einnimmt,
- wobei das eine Koppelement derart mit dem Messrohr und dem Trägerelement mechanisch gekoppelt ist, daß es in einem zentralen Bereich des einzigen Schwingungsbauchs auf das Messrohr einwirkt, und
- wobei eine durch die Koppelemente bestimmte, zwischen Messrohr und Trägerelement wirksame, einstellbare Federsteifigkeit der Koppleranordnung negativ ausgebildet ist.

[0014] Bei vorgenannten Messwandlern wird das Problem von dichteabhängigen Unbalancen im Prinzip dadurch gelöst, daß ein Amplitudengang der Koppelemente oder des Gegenschwingers mittels veränderlicher, von der momentanen Schwingungsamplitude abhängiger Federsteifigkeiten im Betrieb derart an die Meßrohrschwingungen angepaßt wird, daß die vom vibrierenden Meßrohr und Gegenschwinger erzeugten Querkräfte einander teilweise kompensieren. Als Nachteil der vorgeschlagenen Messwandler ist hierbei aber anzusehen, daß trotz technisch jeweils sehr aufwendiger Konstruktionen des Kompensationsmechanismus eine vollständige Neutralisierung der vom Messrohr erzeugten Querkräfte weder praktisch noch theoretisch möglich ist.

[0015] Eine andere Möglichkeit zur Reduzierung von dichteabhängigen Querkräften ist z.B. in der US-A 52 87 754, der US-A 57 05 754 oder der US-A 57 96 010 beschrieben. Bei dort gezeigten Meßwandlern werden die seitens des vibrierenden einzigen Meßrohrs erzeugten, eher mittel- oder hochfrequent oszillierenden Querkräfte mittels eines im Vergleich zum Meßrohr sehr schweren Gegenschwingers und ggf. einer relativ weichen Ankopplung des Meßrohrs an die Rohrleitung, also praktisch mittels eines mechanischen Tiefpasses, von der Rohrleitung, fern gehalten. Ein großer Nachteil eines solchen Meßwandlers besteht u.a. aber darin, daß die zur Erzielung einer ausreichend robusten Dämpfung erforderliche Masse des Gegenschwingers überproportional mit Nennweite des Meßrohrs steigt. Eine Verwendung solch massiger Bauteile bedeutet einerseits stets einen erhöhten Montageaufwand sowohl bei der Fertigung als auch beim Einbau des Meßgeräts in die Rohrleitung. Andererseits ist hierbei stets sicherzustellen, daß eine mit zunehmender Masse immer niedriger werdende minimale Eigenfrequenz des Meßwandlers nach wie vor weitab von den ebenfalls sehr niedrigen Eigenfrequenzen der angeschlossenen Rohrleitung liegt. Somit ist eine Verwendung eines derartigen Meßwandlers in industriell, insb. für Messungen von Flüssigkeiten, einsetzbaren Coriolis-Massedurchflußmessern oder auch Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemessern eher auf relativ geringe Nennweiten von kleiner gleich 10 mm begrenzt.

[0016] Eine Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, einen, insb. für einen Coriolis-Massedurchflußmesser oder auch für einen Coriolis-Massedurchfluß/Dichtemesser geeigneten, Meßwandler vom Vibrationstyp anzugeben, der, auch bei einer Verwendung nur eines einzigen, im Betrieb vom Messrohr durchströmten Meßrohrs, über einen weiten Fluidichtebereich dynamisch gut ausbalanciert ist und der, insb. auch bei Verwendung Messrohre mit einer Nennweite von größer als 10 mm, trotzdem von vergleichsweise geringer Masse ist.

[0017] Zur Lösung der Aufgabe besteht die Erfindung in einem Meßwandler vom Vibrationstyp für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid, welcher Meßwandler umfaßt:

- ein in den Verlauf der Rohrleitung eingesetztes, im Betrieb zumindest zeitweise vibrierendes Meßrohr zum

Führen des Fluids,

- ein an einem Einlassende und an einem Auslassende des Messrohrs fixiertes erstes Trägerelement,
- eine elektro-mechanische Erregeranordnung zum Erzeugen einer das Meßrohr vibrierenlassenden zeitlich veränderlichen Erregerkraft,
- eine Sensoranordnung zum Erfassen von Schwingungen des Meßrohrs, sowie
- eine mit Messrohr und Trägerelement verbundene Koppleranordnung mit wenigstens einem mit dem vibrierenden Messrohr und dem Trägerelement mechanisch, insb. feder-elastisch, wechselwirkenden Koppelement,
- wobei das Messrohr im Betrieb mittels der Erregeranordnung zumindest zeitweise zu einem Schwingungsmod angeregt ist,
- in dem es zumindest anteilig solche Biege-Schwingungen um eine das Einlassende und das Auslassende des Messrohrs imaginär verbindende Schwingungsachse ausführt, dass es überwiegend eine Schwingungsform mit wenigstens drei Biege-Schwingungsbäuchen einnimmt,
- wobei das wenigstens eine Koppelement der Koppleranordnung derart mit dem Messrohr und dem Trägerelement mechanisch gekoppelt ist, daß es in einem, insb. zentralen, Bereich eines der wenigstens drei Schwingungsbäuche auf das Messrohr einwirkt, und
- wobei eine durch das wenigstens eine Koppelement bestimmte, zwischen Messrohr und Trägerelement wirksame, insb. im wesentlichen konstante, Federsteifigkeit der Koppleranordnung oberhalb des 0,5-fachen, insb. im Bereich des 0,7-fachen bis 1,3-fachen, eines Verhältnis liegt, das eine durch das vibrierende Messrohr einlaßseitig und auslaßseitig in das Trägerelement und/oder in die angeschlossene Rohrleitung insgesamt eingeleitete Querkraft bezogen auf eine laterale Auslenkung eines Angriffspunktes repräsentiert, in dem die Koppleranordnung auf das Messrohr einwirkt.

[0018] Nach einer ersten Ausgestaltung der Erfindung ist das wenigstens eine Koppelement aufgrund von Relativbewegungen des schwingenden Messrohrs und des Trägerelements wiederholt elastischen Verformungen unterworfen.

[0019] Nach einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung verbindet das wenigstens eine Koppelement Meßrohr und Trägerelement federelastisch miteinander.

[0020] Nach einer dritten Ausgestaltung der Erfindung ist das Messrohr, insb. dessen Schwingungsform im angeregten Schwingungsmoden, im wesentlichen symmetrisch, insb. rotationssymmetrisch, bezüglich einer in Wirkrichtung der Erregerkraft liegenden imaginären Bezugsachse ausgebildet.

[0021] Nach einer vierten Ausgestaltung der Erfindung ist das Meßrohr im wesentlichen gerade und ist die Federsteifigkeit der Koppleranordnung mindestens auf ein 10-faches, insb. auf etwa ein 20-faches, der Federsteifigkeit des Messrohrs eingestellt.

[0022] Nach einer fünften Ausgestaltung der Erfindung ist das Meßrohr gekrümmt, insb. im wesentlichen S-förmig gebogen, und ist die Federsteifigkeit der Koppleranordnung mindestens auf ein 0,8-faches einer in Wirkrichtung der Querkraft wirksamen Federsteifigkeit des Messrohrs eingestellt.

[0023] Nach einer sechsten Ausgestaltung der Erfindung weist das erste Trägerelement eine gleichfalls in Wirkrichtung der Querkraft wirksame Federsteifigkeit auf, die von der Federsteifigkeit des Messrohrs verschieden ist, insb. ist die Federsteifigkeit des Messrohrs niedriger gewählt als die Federsteifigkeit des ersten Trägerelements.

[0024] Nach einer siebenten Ausgestaltung der Erfindung ist das erste Trägerelement so ausgebildet, daß seine Masse größer gehalten ist als eine Gesamtmasse von Messrohr mit darin enthaltenem Fluid.

[0025] Nach einer achten Ausgestaltung der Erfindung entspricht der angeregte Schwingungsmod im wesentlichen einem natürlichen Eigenmode des Messrohrs mit der darauf einwirkenden Koppleranordnung.

[0026] Nach einer neunten Ausgestaltung der Erfindung nimmt das vibrierende Messrohr überwiegend eine Schwingungsform mit genau drei Biege-Schwingungsbäuchen ein.

[0027] Nach einer zehnten Ausgestaltung der Erfindung ist eine Schwingungsfrequenz der Biege-Schwingungen des Messrohrs im Betrieb stets niedriger gehalten, als eine niedrigste mechanische Resonanzfrequenz des Trägerelements.

- [0028]** Nach einer elften Ausgestaltung der Erfindung erstreckt sich das erste Trägerelement zumindest abschnittsweise entlang des Messrohrs.
- [0029]** Nach einer zwölften Ausgestaltung der Erfindung ist das Meßrohr zumindest teilweise vom, insb. im wesentlichen rohrförmig ausgebildeten, ersten Trägerelement umhüllt.
- [0030]** Nach einer dreizehnten Ausgestaltung der Erfindung sind das Meßrohr und das erste Trägerelement zueinander im wesentlichen coaxial ausgerichtet.
- [0031]** Nach einer vierzehnten Ausgestaltung der Erfindung kommuniziert das Meßrohr über ein in das Einlassende einmündendes erstes Verbindungsrohrstück und über ein in das Auslassende einmündendes, insb. mit dem ersten Verbindungsrohrstück und/oder mit der Schwingungsachse fluchtendes, zweites Verbindungsrohrstück mit der Rohrleitung.
- [0032]** Nach einer fünfzehnten Ausgestaltung der Erfindung ist das erste Trägerelement als einen einlaßseitig und auslaßseitig am Meßrohr fixierter Gegenschwinger ausgebildet und sind das Meßrohr und das erste Trägerelement über das erste und das zweite Verbindungsrohrstück schwingfähig in einem, insb. als Aufnehmer-Gehäuse ausgebildeten, zweiten Trägerelement aufgehängt.
- [0033]** Ein Grundgedanke der Erfindung ist es, einerseits das Messrohr betriebsgemäß in einem Nutzmode vibrieren zu lassen, in dem es eine Schwingungsform einnimmt, die eine ungeradzahlige Anzahl von Schwingungsbäuchen, beispielsweise also drei, fünf oder sieben Schwingungsbäuche u.s.w., aufweist und insoweit im wesentlichen symmetrisch ausgebildet ist. Andererseits zielt die Erfindung darauf ab, mittels in das dergestalt vibrierende Messrohr eingeleiteter Federkräfte die Schwingungsform des im Nutzmode vibrierenden Messrohrs derart zu deformieren, daß nicht nur sämtliche in Richtung der Erregerkraft wirkenden Federkräfte sondern auch möglichst alle resultierend in derselben Richtung wirkenden, vor allem die durch das vibrierende Messrohr hervorgerufenen, Beschleunigungskräfte im Messwandler auch bei schwankender Fluidichte jeweils weitgehend ausgeglichen, also einander jeweils kompensierend ausgebildet sind.
- [0034]** Ein Vorteil der Erfindung besteht dabei darin, daß der Meßwandler zum einen trotz allfälliger, betriebsbedingter Schwankungen der inneren Massenverteilung, z.B. infolge schwankender Fluidichte, sehr gut ausbalanciert ist, und zwar lediglich aufgrund seiner mittels der Koppleranordnung erzwungenen geometrischen Ausprägung der Biege-Schwingungsform.
- [0035]** Der erfindungsgemäße Meßwandler zeichnet sich des weiteren dadurch aus, daß er zum einen sehr kompakt und zum anderen sehr leicht ausgeführt werden kann. Darüber hinaus kann der erfindungsgemäße Messaufnehmer, insb. aber auch dessen Koppleranordnung mit einem im Vergleich zu herkömmlichen Messaufnehmern der beschriebenen Art nur sehr geringfügigen Mehraufwand gefertigt werden.
- [0036]** Nachfolgend werden die Erfindung und weitere Vorteile anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert, das in den Figuren der Zeichnung dargestellt ist. Gleiche Teile sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen. Falls es der Übersichtlichkeit dienlich ist, wird auf bereits erwähnte Bezugszeichen in nachfolgenden Figuren verzichtet.
- [0037]** Fig. 1 zeigt ein in eine Rohrleitung einfügbares Meßgerät zum Messen wenigstens einer physikalischen Meßgröße eines in der Rohrleitung geführten Fluids,
- [0038]** Fig. 2a zeigt ein Ausführungsbeispiel für einen für das Meßgerät von Fig. 1 geeigneten Meßwandler vom Vibrations-Typ mit einem geraden Messrohr in einer perspektivischen Seitenansicht,
- [0039]** Fig. 2b zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des Messwandlers von Fig. 2a
- [0040]** Fig. 3 zeigt den Meßwandler von Fig. 2a geschnitten in einer Seitenansicht,
- [0041]** Fig. 4a zeigt den Meßwandler von Fig. 2a in einem ersten Querschnitt,
- [0042]** Fig. 4b zeigt den Meßwandler von Fig. 2a in einem zweiten Querschnitt,
- [0043]** Fig. 5 zeigt den Meßwandler von Fig. 2a in einem dritten Querschnitt,

[0044] Fig. 6 zeigt Biege-Schwingungsformen für vibrierende Messrohre,

[0045] Fig. 7 zeigt den Verlauf von Querkraften, die durch in den Schwingungsformen gemäß Fig. 6 vibrierende Messrohre im Messaufnehmer erzeugt werden, und

[0046] Fig. 8 – Fig. 10 zeigen weitere Ausführungsbeispiele für einen Meßwandler vom Vibrations-Typ geschnitten in einer Seitenansicht.

[0047] In der Fig. 1 ist ein in eine – hier nicht gezeigte – Rohrleitung einfügbares Meßgerät zum Messen wenigstens einer physikalischen Meßgröße – beispielsweise einen Massedurchfluß, m , eine Dichte, ρ , und/oder eine Viskosität, η – eines in der Rohrleitung geführten, insb. strömenden, Fluids dargestellt. Das Meßgerät umfaßt dafür einen Meßwandler vom Vibrationstyp der im Betrieb vom zu messenden Fluid durchströmt ist. Der Meßwandler dient dazu, in einem hindurchströmenden Fluid mechanische Reaktionskräfte, z.B. massedurchflußabhängige Coriolis-Kräfte, dichteabhängige Trägheitskräfte und/oder viskositätsabhängige Reibungskräfte, zu erzeugen, die meßbar, insb. sensorisch erfaßbar, auf den Meßwandler zurückwirken. Abgeleitet von diesen Reaktionskräften können so in der dem Fachmann bekannten Weise z.B. der Massedurchfluß, m , die Dichte, ρ , und/oder die Viskosität, η , des Fluids gemessen werden. In den Fig. 2 bis Fig. 6 sind entsprechende Ausführungsbeispiele und Ausgestaltungen für solche Meßwandler vom Vibrationstyp schematisch dargestellt.

[0048] Zum Führen des Fluids umfaßt Meßwandler ein einziges Meßrohr **10** von vorgebbarem Meßrohrdurchmesser, das im Betrieb zumindest zeitweise vibrieren gelassen und somit wiederholt, insb. zyklisch, elastisch verformt wird. Wie in Fig. 2 dargestellt, ist das im wesentlichen glattwandige, kreiszylindrische Meßrohr **10** dafür in einem einlaßseitig und auslaßseitig an diesem in geeigneter Weise fixierten ersten Trägerelement **20** schwingfähig gehalten. Im hier gezeigten Ausführungsbeispiel ist das erste Trägerelement rohrförmig, insb. koaxial zum Meßrohr **10** ausgerichtet, ausgeführt; das Trägerelement **20** kann dabei beispielsweise auch als ein das Meßrohr **10** sowie weitere Komponenten des Meßwandlers umhüllendes Wandlergehäuse ausgebildet sein. Als Trägerelement **20** kann anstelle von einem Tragrohr z.B. auch ein im wesentlichen kastenförmiger Tragrahmen ein dienen. Falls erforderlich, kann das sich im wesentlichen entlang des Meßrohrs **10** erstreckende Trägerelement **20** aber auch, wie z.B. auch in der EP-A 518 124, der US-A 57 05 754 oder der US-A 62 23 605 gezeigt, als massive Trägerplatte oder aber auch als kastenförmiger Trägerrahmen ausgebildet sein. Weitere bevorzugte Ausgestaltungen des Trägerelements **20** wie auch weitere Funktionen davon werden weiter unten noch näher erläutert. Anstelle des in Fig. 2a oder Fig. 3 als im wesentlichen gerade gezeigten Messrohrs **10** können im übrigen aber auch, insb. in einer einzigen Ebene, insb. S-förmig, gekrümmte Rohre, wie sie in den Fig. 8 – Fig. 10 oder z.B. auch in der DE-A 39 16 285 oder EP-A 518 124 gezeigt sind, als Messrohr **10** verwendet werden. Ein Vorteil gerader Meßrohre besteht z.B. darin, daß sie praktisch in jeder beliebigen Einbaulage, insb. auch nach einer in-line durchgeführten Reinigung, mit hoher Sicherheit rückstandslos entleert werden können. Ferner sind solche Meßrohre im Vergleich z.B. zu einem omega-förmig oder helixförmig gebogenem Meßrohr wesentlich einfacher und dementsprechend kostengünstiger herzustellen. Demgegenüber weisen solche Messaufnehmer mit geradem Messrohr üblicherweise eine vergleich zu Messaufnehmern mit gebogenem Messrohr erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Temperaturschwankungen und damit einhergehenden axialen Längenänderungen auf.

[0049] Zum Hindurchströmenlassen des Fluids ist das Meßrohr **10**, wie in den Fig. 2a, Fig. 3 oder Fig. 8 bis Fig. 10 gezeigt, über ein einlaßseitig einmündendes erstes Verbindungsrohrstück **11** und über ein auslaßseitig einmündendes zweites Verbindungsrohrstück **12** an eine das Fluid zu- bzw. abführende, hier nicht dargestellte, Rohrleitung angeschlossen. Meßrohr **10**, Einlaß- und Auslaßrohrstück **11**, **12** sind, zueinander und zu einer gedachten Längsachse L fluchtend ausgerichtet, in vorteilhafter Weise einstückig ausgeführt, so daß zu deren Herstellung z.B. ein einziges rohrförmiges Halbzeug dienen kann; falls erforderlich können Meßrohr **10** und Rohrstücke **11**, **12** aber auch mittels einzelner, nachträglich zusammengefügt, z.B. zusammengeschweißter, Halbzeuge hergestellt werden. Zur Herstellung des Meßrohrs **10** kann hierbei praktisch jedes der für solche Meßwandler üblichen Materialien, wie z.B. Stahl, Titan-, Zirkonium- oder Tantal-Legierungen etc., verwendet werden. Für den Fall, daß der Meßwandler lösbar mit der Rohrleitung zu montieren ist, ist jedem der beiden Verbindungsrohrstücke **11**, **12** ferner jeweils ein Flansch **13** bzw. **14** angeformt; falls erforderlich können die Verbindungsrohrstücke **11**, **12** aber auch direkt mit der Rohrleitung, z.B. mittels Schweißen oder Hartlötung, verbunden werden.

[0050] Zusätzlich zum ersten Trägerelement **20** kann, wie auch aus der Zusammenschau von Fig. 1, Fig. 2a und Fig. 3 oder auch aus den Fig. 8 bis Fig. 10 ersichtlich, an den Verbindungsrohrstücken **11**, **12**, ein zweites Trägerelement **100** fixiert sein, das dann beispielsweise auch statt des ersten Trägerelements **20** als das Meßrohr **10** aufnehmendes Wandlergehäuse ausgestaltet sein kann, vgl. Fig. 1.

[0051] Im Betrieb des Meßwandlers wird das Meßrohr **10** zumindest zeitweise zu Biegeschwingungen, insb. im Bereich einer momentanen natürlichen Eigenfrequenz, so angeregt, daß in diesem angeregten Schwingungsmodus, dem so genannten Nutzmodus, zumindest anteilig Biege-Schwingungen um eine das Einlassende und das Auslassende des Messrohrs **10** imaginär verbindende Schwingungsachse ausführt. Erfindungsgemäß wird das Messrohr **10** dabei zu einem solchen Schwingungsmodus angeregt, in dem es überwiegend eine erste Schwingungsform mit wenigstens drei Biege-Schwingungsbäuchen einnimmt. Anders gesagt hat dann jene natürliche Eigenschwingungsform mit drei Biege-Schwingungsbäuchen den größten Anteil an der momentanen Ausprägung des angeregten Nutzmodus bzw. dessen Schwingungsform. Die erste Schwingungsform des dergestalt im angeregten Schwingungsmodus vibrierenden, also überwiegend drei oder mehr Schwingungsbäuche aufweisenden, Meßrohrs **10** ist dabei im wesentlichen symmetrisch, insb. rotationssymmetrisch, bezüglich einer in Wirkrichtung der Erregerkraft, F_{exc} , liegenden gedachten Bezugsachse ausgebildet. Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird das vibrierende Messrohr **10** aber gezielt so angeregt, daß es überwiegend eine Schwingungsform mit genau drei Biege-Schwingungsbäuchen einnimmt, also überwiegend im so genannten f3-Mode schwingt.

[0052] Für den Fall, daß das Fluid in der Rohrleitung strömt und somit der Massedurchfluß m von Null verschieden ist, werden so mittels des in oben beschriebener Weise vibrierenden Meßrohrs **10** im hindurchströmenden Fluid Corioliskräfte induziert. Diese wiederum wirken auf das Meßrohr **10** zurück und bewirken so eine zusätzliche, sensorisch erfaßbare, hier jedoch nicht dargestellte, Verformung des Meßrohrs **10** gemäß einer zweiten Schwingungsform, die dem angeregten Nutzmodus des hier geraden Messrohrs **10** koplanar und gleichfrequent überlagert ist. Die momentane Ausprägung der Verformung des Meßrohrs **10** ist dabei, insb. hinsichtlich ihrer Amplituden, auch vom momentanen Massedurchfluß, m , abhängig. Als zweite Schwingungsform, dem so genannten Coriolismodus, kann z.B. eine Schwingungsform mit vier Schwingungsbäuchen oder auch symmetrische Schwingungsformen mit sechs oder mehr Schwingungsbäuchen dienen.

[0053] Zum Erzeugen mechanischer Schwingungen des Meßrohrs **10** umfaßt der Meßwandler ferner eine, insb. elektrodynamische, Erregeranordnung **40**. Diese dient dazu, eine von einer, hier nicht dargestellten, Steuer-Elektronik eingespeiste, elektrische Erregerenergie E_{exc} , z.B. mit einem geregelten Strom und/oder einer geregelten Spannung, in eine auf das Meßrohr **10**, z.B. pulsförmig oder harmonisch, einwirkende und dieses in der vorbeschriebenen Weise elastisch verformende Erregerkraft F_{exc} umzuwandeln. Die Erregerkraft F_{exc} kann hierbei, wie in **Fig. 3** oder **Fig. 9** schematisch dargestellt, bidirektional oder aber auch unidirektional ausgebildet sein und in der dem Fachmann bekannten Weise z.B. mittels einer Strom- und/oder Spannungs-Regelschaltung, hinsichtlich ihrer Amplitude und, z.B. mittels einer Phasen-Regelschleife, hinsichtlich ihrer Frequenz eingestellt werden. Als Erregeranordnung **40** kann z.B. eine Tauchspulenordnung dienen, die wenigstens eine am Meßrohr **10** oder am ersten Trägerelement **20** befestigte zylindrische Erregerspule, die im Betrieb von einem entsprechenden Erregerstrom durchflossen ist, und einen in die Erregerspule zumindest teilweise eintauchenden Dauermagnetischen Anker, der am Trägerelement **20** bzw. am Meßrohr **10** fixiert ist, aufweist. Ferner kann die Erregeranordnung **40** auch, wie z.B. in der US-A 45 24 610 gezeigt, mittels eines oder mehrerer Elektromagnete realisiert sein. Darüber hinaus ist es auch möglich, die Erregeranordnung **40**, wie z.B. in der WO-A 99 51 946 gezeigt, mittels seismischer Erreger zu realisieren.

[0054] Zum Detektieren von Schwingungen des Meßrohrs **10** umfaßt der Meßwandler des weiteren eine, insb. elektrodynamische, Sensoranordnung **50**. Als Sensoranordnung **50** kann z.B. eine für derartige Meßwandler übliche Sensoranordnung verwendet werden, bei der in der dem Fachmann bekannten Weise mittels wenigstens eines ersten Sensors **51**, vorzugsweise aber auch mittels eines zweiten Sensors **52** die Bewegungen des Meßrohrs **10**, insb. einlaßseitig und auslaßseitig, erfaßt und in entsprechende Sensorsignale S_1 , S_2 umgewandelt werden. Als Sensoren **51**, **52** können z.B., wie auch in **Fig. 5** schematisch dargestellt, die Schwingungen von Meßrohr **10** und Gegenschwinger **20** relativ messende, elektrodynamische Geschwindigkeitssensoren oder aber elektrodynamische Wegsensoren oder Beschleunigungssensoren verwendet werden. Anstelle elektrodynamischer Sensoranordnungen können ferner auch mittels resistiver oder piezoelektrischer Dehnungsmeßstreifen messende oder opto-elektronische Sensoranordnungen zum Detektieren der Schwingungen des Meßrohrs **10** dienen. Die Sensorsignale können in der dem Fachmann bekannten Weise mittels einer entsprechenden, insb. digitalen, Auswerte-Elektronik in die entsprechenden Meßwerte umgewandelt werden. Sowohl die oben erwähnte Steuer-Elektronik für die Erregeranordnung **40** als auch die mit der Sensoranordnung **50** verbundene Auswerte-Elektronik können in einem, vorzugsweise am Wandlergehäuse **100** befestigten, Elektronikgehäuse **200** untergebracht sein.

[0055] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist die Erregeranordnung **40**, wie auch in **Fig. 3** und **4** gezeigt, so ausgebildet und im Meßwandler angeordnet, daß sie im Betrieb gleichzeitig, insb. differentiell, auf Meßrohr **10** und Gegenschwinger **20** wirkt. In entsprechender Weise kann auch die Sensoranordnung **50** so

ausgelegt und im Meßwandler angeordnet sein, daß durch sie die Vibrationen von Meßrohr **10** und Gegenschwinger **20** differentiell erfaßt werden.

[0056] Im in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsbeispiel sind – wie z.B. auch in der eingangs erwähnten WO-A 03/0959950 vorgeschlagen – Meßrohr **10**, Trägerelement **20** sowie die daran befestigten Sensor- und Erregeranordnungen **40**, **50** hinsichtlich ihrer Massenverteilung so aufeinander abgestimmt, daß das so gebildete, mittels des Ein- und am Auslaßrohrstücks **11**, **12** im zweiten Trägerelement **100** aufgehängte Innenteil des Meßwandlers einen Massenschwerpunkt MS aufweist, der zumindest innerhalb des Meßrohrs **10**, vorzugsweise aber möglichst nah an der Meßrohr-Längsachse L liegt.

[0057] Zudem ist das Innenteil zumindest bei Verwendung eines geraden Messrohrs in vorteilhafter Weise so ausgebildet, daß es eine mit den beiden Verbindungsrohrstücken **11**, **12** fluchtende und zumindest abschnittsweise innerhalb des Meßrohrs **10** liegende erste Trägheitshauptachse T_1 aufweist; Schwingungsachse, Meßrohr-Längsachse L und Trägheitshauptachse T_1 sind im übrigen beim in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel praktisch koinzident.

[0058] Aufgrund der Verlegung des Massenschwerpunktes MS des Innenteils, insb. aber auch aufgrund der vorbeschriebenen Lage der ersten Trägheitshauptachse T_1 , sind die vom Meßrohr **10** betriebsgemäß eingenommenen Schwingungsformen, nämlich die oben erwähnten Biege-Schwingungen im Nutz- und Coriolismode, mechanisch weitestgehend von allfälligen Torsions-Schwingungen des Messrohrs **10** um die Trägheitshauptachse T_1 entkoppelt. Dadurch können nützliche Biege-Schwingungen und nützliche Torsions-Schwingungen einerseits voneinander getrennt angeregt werden; andererseits können störende Torsions-Schwingungen gleichermaßen wirkungsvoll von den Biege-Schwingungen im Nutz- und/oder Coriolismode getrennt werden. Sowohl die Verlegung des Massenschwerpunktes MS als auch der ersten Trägheitshauptachse T_1 hin zur Meßrohr-Längsachse L kann beispielsweise dadurch erheblich vereinfacht werden, daß das Innenteil, also Meßrohr **10**, Trägerelement **20** sowie die daran befestigten Sensor- und Erregeranordnungen **50**, **40**, so ausgebildet und zueinander angeordnet sind, daß eine Massenverteilung des Innenteils entlang der Meßrohr-Längsachse L im wesentlichen symmetrisch, zumindest aber invariant gegenüber einer gedachten Drehung um die Meßrohr-Längsachse L um 180° (c2-Symmetrie), ist.

[0059] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist das hier rohrförmige, im wesentlichen koaxial zum Meßrohr **10** angeordnete Trägerelement **20** auch weitgehend axial-symmetrisch bezüglich der Trägheitshauptachse T_1 ausgebildet, wodurch das Erreichen einer symmetrischen Massenverteilung des Innenteils erheblich vereinfacht wird und somit auch der Massenschwerpunkt MS in einfacher Weise nah zur Meßrohr-Längsachse L hin verlegt wird, vgl. **Fig. 3** oder **Fig. 5**. Darüber hinaus sind auch die Sensor- und Erregeranordnungen **50**, **40** in vorteilhafter Weise so ausgebildet und zueinander am Meßrohr **10** und ggf. am Gegenschwinger **20** angeordnet, daß ein durch sie erzeugtes Massenträgheitsmoment möglichst konzentrisch zur Meßrohr-Längsachse L ausgebildet oder zumindest möglichst klein gehalten ist. Dies kann z.B. dadurch erreicht werden, daß ein gemeinsamer Massenschwerpunkt von Sensor- und Erregeranordnung **50**, **40** ebenfalls möglichst nah an der Meßrohr-Längsachse L liegt und/oder daß eine Gesamtmasse von Sensor- und Erregeranordnung **50**, **40** möglichst klein gehalten ist.

[0060] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist die Erregeranordnung **40** zum Zwecke der getrennten Anregung von Torsions- und/oder Biegeschwingungen des Meßrohrs **10** oder aber auch zum aktiven Abbremsen von störenden Torsionsschwingungen so ausgebildet und an diesem und am Gegenschwinger **20** so fixiert, daß eine die Biegeschwingungen erzeugende Kraft entlang einer gedachten Kraftlinie auf das Meßrohr **10** wirkt, die außerhalb einer zur ersten Trägheitshauptachse T_1 senkrechten zweiten Trägheitshauptachse T_2 verläuft oder letztere in höchstens einem Punkt schneidet. Vorzugsweise ist das Innenteil so ausgestaltet, daß die zweite Trägheitshauptachse T_2 im wesentlichen mit der oben erwähnten, in der Wirkrichtung der Erregerkraft, F_{exc} , liegenden gedachten Bezugsachse übereinstimmt, vgl. **Fig. 3** oder 4.

[0061] Im in der **Fig. 4a** gezeigten Ausführungsbeispiel weist die Erregeranordnung **40** dazu wenigstens eine im Betrieb zumindest zeitweise vom Erregerstrom oder einem Erregerteilstrom durchflossene erste Erreger-spule **41a** auf, die an einem mit dem Meßrohr **10** verbundenen Hebel **41c** fixiert ist und über diesen und einen von außen am Gegenschwinger **20** fixierten Anker **41b** differentiell auf das Meßrohr **10** und den Gegenschwinger **20** einwirkt. Diese Anordnung hat u.a. auch den Vorteil, daß einerseits der Gegenschwinger **20** und somit auch das Wandlergehäuse **100** im Querschnitt klein gehalten und trotzdem die Erreger-spule **41a**, insb. auch bei der Montage, leicht zugänglich ist. Darüber hinaus besteht ein weiterer Vorteil dieser Ausgestaltung der Erregeranordnung **40** auch darin, daß allfällig verwendete, insb. bei Nennweiten von über 80 mm nicht mehr vernachlässigbar schwere, Spulenbecher **41d** ebenfalls am Gegenschwinger **20** zu fixieren sind und somit

praktisch keinen Einfluß auf die Resonanzfrequenzen des Meßrohrs **10** haben. Es sei jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß falls erforderlich, die Erregerspule **41a** auch vom Gegenschwinger **20** und dementsprechend der Anker **41b** vom Meßrohr **10** gehalten werden können.

[0062] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist die Erregeranordnung **40** wenigstens eine entlang eines Durchmessers des Meßrohrs **10** angeordnete zweite Erregerspule **42a** auf die in gleicher Weise wie die Erregerspule **41a** mit dem Meßrohr **10** und dem Gegenschwinger **20** gekoppelt ist. Nach einer Weiterbildung der Erfindung weist die Erregeranordnung zwei weitere, insgesamt also vier zumindest bezüglich der zweiten Trägheitshauptachse T_2 symmetrisch angeordnete Erregerspulen **43a**, **44a** auf, die alle in der vorgenannten Weise im Meßwandler montiert sind.

[0063] Die außerhalb der zweiten Trägheitshauptachse T_2 auf das Meßrohr **10** einwirkende Kraft kann mittels solcher Zwei- oder Vier-Spulen-Anordnungen in einfacher Weise z.B. dadurch erzeugt werden, daß eine der Erregerspulen, z.B. die Erregerspule **41a**, eine andere Induktivität aufweist als die jeweils anderen oder daß eine der Erregerspulen, z.B. die Erregerspule **41a**, im Betrieb von einem Erregerteilstrom durchflossen ist, der von einem jeweiligen Erregerteilstrom der jeweils anderen Erregerspulen verschieden ist.

[0064] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Sensoranordnung **50**, wie in **Fig. 5** schematisch dargestellt, eine außerhalb der zweiten Trägheitshauptachse T_2 angeordnete, am Meßrohr **10** fixierte Sensorspule **51a**. Die Sensorspule **51a** ist möglichst nah zu einem am Gegenschwinger **20** fixierten Anker **51b** angeordnet und mit diesem magnetisch so gekoppelt, daß in der Sensorspule eine durch rotatorische und/oder laterale, ihre relative Lage und/oder ihren relativen Abstand verändernde Relativbewegungen zwischen Meßrohr **10** und Gegenschwinger **20** beeinflusste, veränderliche Meßspannung induziert wird. Aufgrund der erfindungsgemäßen Anordnung der Sensorspule **51a** können in vorteilhafter Weise gleichzeitig sowohl die oben genannten Torsionsschwingungen als auch die ggf. angeregten Biegeschwingungen erfaßt werden. Falls erforderlich können die Sensorspule **51a** dazu aber auch am Gegenschwinger **20** und in entsprechender Weise der mit dieser gekoppelte Anker **51b** am Meßrohr **10** fixiert sein.

[0065] Es sei hier noch erwähnt, daß falls erforderlich, in der dem Fachmann bekannten Weise, die Erregeranordnung **40** und die Sensoranordnung **50** in ihrem mechanischen Aufbau praktisch auch gleich ausgeführt sein können; überdies lassen sich die vorgenannten Ausgestaltungen des mechanischen Aufbaus der Erregeranordnung **40** im wesentlichen auch auf den mechanischen Aufbau der Sensoranordnung **50** übertragen und umgekehrt.

[0066] Bei einer Anregung der Biegeschwingungen im Nutzmode werden im in der oben beschriebenen Weise vibrierenden, einzigen Meßrohr **10** aufgrund von mit den Biegeschwingungen einhergehenden Massenbeschleunigungen bekanntlich entlang des Messrohrs Querkräfte erzeugt. Bei einem in herkömmlicher Weise aufgebauten Innenteil mit einem einfachen, in einem natürlichen symmetrischen Eigenmode schwingenden Messrohr **10** und einem als Gegenschwinger wirkenden ersten Trägerelement ist eine Resultierende vorgenannter Querkräfte bei erheblich schwankender Dichte, ρ , nicht mehr vernachlässigbar klein. Beispielsweise würden sich bei einem herkömmlichen Meßwandler der beschriebenen Art mit einem als Meßrohr **10** dienenden Titanrohr, das eine Nennweite von 18 mm, eine Wandstärke von etwa 1 mm und eine Länge von etwa 660 mm aufweist und mit Wasser als Medium gefüllt ist, für den in **Fig. 6** schematisch dargestellten f3-Mode (gestrichelte Linie) in etwa eine Schwingungsfrequenz von 950...1000 Hz und bei einer Schwingungsamplitude von ca. 10 μm eine resultierende Querkraft, Q_{10} , wie auch **Fig. 7** entnehmbar (gestrichelte Linie), von insgesamt etwa 30 N ergeben.

[0067] Für den Fall, daß diese vom vibrierenden Meßrohr **10** verursachte resultierenden Querkraft, Q_{10} , nicht kompensiert wird, verbleibt ein Querimpuls im Innenteil bzw. im Meßwandler, was wiederum dazu führt, daß das Meßrohr **10** zusammen mit dem daran fixierten ersten Trägerelement **20** lateral aus der zugewiesenen statischen Ruhelage verschoben werden. Dementsprechend würde die Querkraft, Q_{10} , – hier über die Verbindungsrohrstücke **11**, **12** – zumindest teilweise auch auf die angeschlossene Rohrleitung wirken und diese somit gleichfalls vibrieren lassen. Außerdem würden praktisch unvermeidliche mechanische Unsymmetrien im Meßwandler und/oder in der angeschlossenen Rohrleitung zwangsläufig zur Anregung parasitärer asymmetrischer Schwingungsmoden führen, die den Schwingungen des Coriolismodes in nicht mehr ohne weiters separierbarer Weise gleichfrequent überlagert sind.

[0068] Infolgedessen kann es beispielsweise bei der Messwertgenerierung im besonderen auch zu erheblichen Nullpunktfehlern kommen.

[0069] Zur Minimierung solcher vom vibrierenden Messrohr generierten, insb. auch auf die Rohrleitung wirkenden und daher für die Messung schädlichen, oszillierenden Querkkräfte ist daher im Meßwandler ferner eine mit Messrohr **10** und Trägerelement **20** verbundene Koppleranordnung **60** vorgesehen, die wenigstens ein mit dem vibrierenden Messrohr **10** und dem Trägerelement **20** mechanisch, insb. feder-elastisch, wechselwirkendes erstes Koppelement **61** umfaßt. Das wenigstens eine Koppelement **61** der Koppleranordnung **60** ist hierbei derart mit dem Messrohr **10** und dem Trägerelement **20** mechanisch gekoppelt ist, daß es in einem, insb. zentralen, Bereich eines der wenigstens drei Schwingungsbäuche auf das Messrohr **10** einwirkt. Infolgedessen gelangt zwischen Messrohr **10** und Trägerelement **20** auch eine durch das wenigstens eine Koppelement **61** bestimmte Federsteifigkeit, c_{60} , der Koppleranordnung **60** zur Wirkung.

[0070] Die Wirkung der erfindungsgemäßen Koppleranordnung **60** besteht nunmehr darin, daß die oben erwähnte erste Schwingungsform des Messrohrs **10** mit daran eingreifender Koppleranordnung, wie auch in **Fig. 6** schematisch dargestellt (durchgezogene Linie), im angeregten Nutzmode im Vergleich zu einer Schwingungsform eines lediglich endseitig eingespannten, sonst aber im wesentlichen frei in einem die gleiche Anzahl Schwingungsbäuche aufweisenden natürlichen Schwingungsmoden schwingenden Messrohr (**Fig. 6**, gestrichelte Linie) überraschenderweise derart deformiert ist, daß sich die durch die bewegten Massen des schwingenden Messrohrs **10** verursachten lateralen Beschleunigungskräfte, wie auch in **Fig. 7** (durchgezogene Linie) schematisch dargestellt, gegenseitig im wesentlichen neutralisieren. Gleichermaßen werden überraschenderweise aber auch jene Biegekräfte, die ebenfalls durch das im Nutzmode oszillierende Messrohr **10** in den gemeinsamen Verbindungsstellen von Messrohr **10** und Trägersystem **20** – hier den gemeinsamen Verbindungsstellen von Messrohr **10**, Trägersystem **20** und Verbindungsrohrstücken **11**, **12** – verursacht werden, dadurch weitgehend kompensiert, daß entsprechende Federkräfte in dem wenigstens einen Koppelement **61** induziert und über das damit verbundene Trägerelement **20** zu den genannten Biegekräften gegenläufig in die gemeinsamen Verbindungsstellen von Messrohr **10** und Trägersystem **20** eingeleitet werden.

[0071] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird das Messrohr **10** mittels der Erregeranordnung **40** so angeregt, daß der Nutzmode mit der oben erwähnten Biege-Schwingungsform im wesentlichen einem natürlichen Eigenmode des Messwandlers entspricht, der im wesentlichen durch das Messrohr **10** und die darauf einwirkende Koppleranordnung **60** bestimmt ist. Anders gesagt, soll das Messrohr **10** im Nutzmode mit einer natürlichen Eigenfrequenz oszillieren, die im wesentlichen sowohl durch die Schwingungseigenschaften des Messrohrs **10** mit dem hindurchströmenden Fluid als auch durch die Schwingungseigenschaften der auf das Messrohr **10** einwirkenden Koppleranordnung **60** bestimmt ist.

[0072] Bei dem erfindungsgemäßen Koppelement **61** kann es sich beispielsweise um im wesentlichen federelastisch wirkenden Koppelemente mit positiver Federkonstante, also einfache Spiral- oder Blattfedern oder dergleichen, handeln, die sowohl am Meßrohr **10** als auch am Trägerelement **20** in geeigneter Weise fixiert sind. Allerdings können auch solche Koppelemente verwendet werden, die eine elektrisch einstellbare negative Federkonstante aufweisen, also eine oder mehrere zumindest anteilig von einem entsprechenden Gleichstrom durchflossenen Magnetspulen, vgl. hierzu auch die eingangs erwähnte US-A 55 31 126. Beispielsweise kann somit die oben genannte Erregeranordnung mit den Erregerspulen gleichzeitig als Koppleranordnung dienen.

[0073] Nach einer Ausgestaltung der Erfindung ist das wenigstens eine Koppelement **61** als eine mechanisch Feder ausgebildet und, wie in den **Fig. 4a** und **Fig. 4b** gezeigt, zum einen ebenfalls an dem mit dem Meßrohr **10** verbundenen Hebel **41c** fixiert. Zum anderen ist das Koppelement auch direkt am Gegenschwinger fixiert. Durch das Koppelement sind Meßrohr **10** und Trägerelement **20** nicht nur endseitig im wesentlichen radial starr, sondern zusätzlich auch in einem betriebsgemäß gegenphasig schwingenden, hier zentralen, Abschnitt radial im wesentlichen federelastisch miteinander verbunden. Dementsprechend ist auch das Koppelement **61** im Betrieb aufgrund von Relativbewegungen des schwingenden Messrohrs **10** und des Trägerelements **20** zwangsläufig wiederholt elastischen Verformungen unterworfen. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist das Koppelement als eine einfache, ggf. in einer Ebene leicht gebogene, Blattfeder ausgebildet, die mit einem mittleren Abschnitt am Hebel **41c** angebracht ist, beispielsweise, wie in **Fig. 2a**, **Fig. 2b** oder **4** schematisch dargestellt, durch Einlöten in einen stirnseitig in den Hebel **41c** eingeformten Schlitz.

[0074] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist in der Koppleranordnung ferner zusätzlich zum ersten Koppelement **61** ein, insb. zu diesem im wesentlichen baugleich ausgebildetes, zweites Koppelement **62** vorgesehen, das ebenfalls im Bereich eines der Biege-Schwingungsbäuche des Meßrohrs auf dieses einwirkt. In vorteilhafter Weise sind die beiden Koppelemente dabei so im Meßwandler angeordnet, daß die Koppleranordnung **60** zumindest bezüglich der oben erwähnten, in Wirkrichtung der Erregerkraft, F_{exc} , liegenden gedachten Bezugsachse im wesentlichen symmetrisch ausgebildet ist.

[0075] Untersuchungen haben ferner ergeben, daß die oben genannten Querkkräfte allein mittels der Koppleranordnung weitgehend kompensiert werden können, wenn die durch das wenigstens eine Koppelement bestimmte und zwischen Messrohr **10** und Trägerelement **20** wirksame Federsteifigkeit, c_{60} , der Koppleranordnung **60** oberhalb des 0,5-fachen eines Verhältnis, Q_{10}/x_0 , liegt, das die durch das vibrierende Messrohr **10** einlaßseitig und auslaßseitig in das Trägerelement **20** und/oder in die angeschlossene Rohrleitung insgesamt eingeleitete Querkraft, Q_{10} , bezogen auf eine laterale Auslenkung, x_0 , eines Angriffspunktes repräsentiert, in dem die Koppleranordnung **60** letztlich auf das Messrohr **10** einwirkt. Sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Kompensation der Querkkräfte, Q_{10} , können dabei im besonderen erzielt werden, wenn die Federsteifigkeit, c_{60} , der Koppleranordnung **60** etwa im Bereich des 0,7-fachen bis 1,3-fachen des vorgenannten Verhältnisses, Q_{10}/x_0 , liegt ist.

[0076] Ferner konnte festgestellt werden, daß – alternativ oder ergänzend zur vorangehenden Dimensionierungsregel – die Federsteifigkeit, c_{60} , der Koppleranordnung **60** für eine zentral am im f3-Mode schwingenden Messrohr **10** angreifende Koppleranordnung basierend auf folgender mathematischen Beziehung ebenfalls sehr leicht ermittelt oder zumindest näherungsweise sehr gut abgeschätzt werden kann:

$$c_{60} = \alpha \cdot \frac{E \cdot J}{l^3}, \quad (1)$$

worin

- α – eine mit einem Eigenwert der Biege-Schwingungsform des angeregten Nutzmodes korrespondierende, insb. dazu proportionale, Konstante,
- E – Elastizitätsmodul (E- oder Young-Modul) des verwendeten Messrohr-Materials,
- J – Flächenträgheitsmoment des verwendete Messrohrs und
- l – totale oder "abgewinkelte" Länge des Messrohrs oder der Biegelinie sind.

[0077] Für im wesentlichen gerade Messrohre beträgt die Konstante α etwa 4000, während sie für im wesentlichen S-förmig gebogene Messrohre mit etwa 600 zu veranschlagen ist.

[0078] Für den Fall, daß das Messrohr **10**, wie auch in **Fig. 3** gezeigt, im wesentlichen gerade ausgebildet ist führt die Anwendung der vorgenannten Dimensionierungsregeln jeweils dazu, daß die Federsteifigkeit, c_{60} , der Koppleranordnung **60** dann mindestens auf ein 10-faches, bei Verwendung herkömmlicher Materialien und Abmessungen insb. auf etwa ein 20-faches, der Federsteifigkeit, c_{10} , des Messrohrs **10** eingestellt ist. Für den Fall, daß das Messrohr im wesentlichen in einer Ebene gekrümmt ausgebildet, insb. S-förmig gebogen, ist, führt die Anwendung der Dimensionierungsregel wiederum dazu, daß die Federsteifigkeit, c_{60} , der Koppleranordnung mindestens auf ein 0,8-faches einer in Wirkrichtung der Querkraft, Q_0 , wirksamen Federsteifigkeit, c_{10} , des Messrohrs **10** einzustellen ist.

[0079] Weitere Verbesserungen hinsichtlich der Kompensation der Querkkräfte lassen sich ferner dadurch erzielen, daß das erste Trägerelement **20** eine gleichfalls in Wirkrichtung der Querkraft, Q_0 , wirksame Federsteifigkeit, c_{20} , aufweist, die von der Federsteifigkeit, c_{10} , des Messrohrs **10** verschieden ist. Demgemäß ist die Federsteifigkeit, c_{10} , des Messrohrs **10** in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung, insb. um wenigstens ein 5-faches, niedriger gewählt als die Federsteifigkeit, c_{20} , des ersten Trägerelements **20**. Alternativ oder auch zusätzlich dazu ist nach einer Ausgestaltung der Erfindung eine Schwingungsfrequenz der Biege-Schwingungen des Messrohrs **10** so gewählt, daß sie im Betrieb stets niedriger gehalten ist, als eine niedrigste mechanische Resonanzfrequenz des Trägerelements **20**.

[0080] Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist das biegesteife Trägerelement **20** im Vergleich zum Messrohr **10** sehr schwer ausgebildet. Demgemäß ist bei dieser Ausgestaltung der Erfindung eine Masse des ersten Trägerelements **20** so gewählt, daß eine Gesamtmasse von Messrohr **10** mit darin enthaltenem Fluid niedriger ist als diese Trägerelement-Masse.

[0081] Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist aber auch darin zu sehen, daß die guten Ergebnisse hinsichtlich der Neutralisierung der vom vibrierenden Messrohr induzierten Querkkräfte überraschenderweise auch dann erzielt werden können, wenn das das Messrohr einspannende, biegesteife erste Trägerelement **20** und somit auch der gesamte Messaufnehmer sehr leicht ausgeführt sind. Demgemäß kann die Masse des ersten Trägerelements **20** auch so gewählt, daß die Gesamtmasse von Messrohr **10** mit darin enthaltenem Fluid höher ist als diese Trägerelement-Masse. Ein biegesteifes und gleichermaßen leichtes Trägerelement kann beim in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel auf einfache Weise z.B. durch seitlich am rohrförmigen Trägerelement **20** angebrachte stab- oder hakenförmige Verstärkungen erreicht werden, die sich im wesentlichen parallel zur

Meßrohr längsachse L erstrecken. Eine weitere Möglichkeit zur Schaffung eines vergleichsweise leichten, gleichwohl aber auch sehr biegesteifen Trägerelements **20** besteht in der Verwendung entsprechender Materialien mit einem hohen E-Modul und einer geringen Dichte, wie z.B. Glas, Keramik, Glaskeramik, mit Glas- und/oder Kohlefasern verstärkter Kunststoff oder dergleichen.

[0082] Überdies hat es sich überraschenderweise gezeigt, daß mittels der im Ausführungsbeispiel gezeigten Koppleranordnung **60** mit über den Hebel **41c** exzentrisch am Messrohr **10** angreifenden – hier sichelförmig ausgebildeten – Blattfedern nicht nur auch eine sehr wirkungsvolle Verstimmung solcher lateralen Biege-Schwingungsmoden erzielt werden kann, deren Schwingungsrichtung senkrecht zur gemeinsamen Schwingungsrichtung des Nutz- und Coriolismodes verläuft, sondern, daß trotz dieser durchaus erwünschten Verstimmung solcher störenden Biege-Schwingungsmoden die Schwingungseigenschaften allfällig zusätzlich – simultan oder alternierend – angeregter nützlicher Torsions-Schwingungen kaum beeinflusst werden.

[0083] Für den Fachmann besteht im übrigen auch keinerlei Schwierigkeit darin, zu erkennen, daß die erfindungsgemäße Koppleranordnung **60** vorzugsweise so auszubilden ist, daß eine resultierende Wirkungslinie aller durch sie insgesamt erzeugten Federkräfte im wesentlichen mit der oben erwähnten, in Wirkrichtung der Erregerkraft, F_{exc} , liegenden gedachten Bezugsachse koinzidiert. Darüber hinaus ist die Koppleranordnung **60** für die meisten praktischen Anwendungen auch so auszuführen, daß eine Verteilung aller durch sie insgesamt erzeugten Federkräfte im wesentlichen symmetrisch bezüglich vorgenannter Bezugsachse ausgebildet ist.

Patentansprüche

1. Meßwandler vom Vibrationstyp für ein in einer Rohrleitung strömendes Fluid, welcher Meßwandler umfaßt:

- ein in den Verlauf der Rohrleitung eingesetztes, im Betrieb zumindest zeitweise vibrierendes Meßrohr (**10**) zum Führen des Fluids,
- ein an einem Einlassende und an einem Auslassende des Messrohrs (**10**) fixiertes erstes Trägerelement (**20**),
- eine elektro-mechanische Erregeranordnung (**40**) zum Erzeugen einer das Meßrohr (**10**) vibrierenlassenden zeitlich veränderlichen Erregerkraft, F_{exc} ,
- eine Sensoranordnung (**50**) zum Erfassen von Schwingungen des Meßrohrs (**10**), sowie
- eine mit Messrohr (**10**) und Trägerelement (**20**) verbundene Koppleranordnung (**60**) mit wenigstens einem mit dem vibrierenden Messrohr (**10**) und dem Trägerelement (**20**) mechanisch, insb. feder-elastisch, wechselwirkenden Koppellement (**61**),
- wobei das Messrohr (**10**) im Betrieb mittels der Erregeranordnung (**40**) zumindest zeitweise zu einem Schwingungsmodus angeregt ist, in dem es zumindest anteilig solche Biege-Schwingungen um eine das Einlassende und das Auslassende des Messrohrs (**10**) imaginär verbindende Schwingungsachse ausführt, dass es überwiegend eine Schwingungsform mit wenigstens drei Biege-Schwingungsbäuchen einnimmt,
- wobei das wenigstens eine Koppellement (**61**) der Koppleranordnung (**60**) derart mit dem Messrohr (**10**) und dem Trägerelement (**20**) mechanisch gekoppelt ist, daß es in einem, insb. zentralen, Bereich eines der wenigstens drei Schwingungsbäuche auf das Messrohr (**10**) einwirkt, und
- wobei eine durch das wenigstens eine Koppellement (**61**) bestimmte, zwischen Messrohr (**10**) und Trägerelement (**20**) wirksame, insb. im wesentlichen konstante, Federsteifigkeit, c_{60} , der Koppleranordnung (**60**) oberhalb des 0,5-fachen, insb. im Bereich des 0,7-fachen bis 1,3-fachen, eines Verhältnisses, Q_{10}/x_0 , liegt, das eine durch das vibrierende Messrohr (**10**) einlaßseitig und auslaßseitig in das Trägerelement (**20**) und/oder in die angeschlossene Rohrleitung insgesamt eingeleitete Querkraft, Q_{10} , bezogen auf eine laterale Auslenkung, x_{10} , eines Angriffspunktes repräsentiert, in dem die Koppleranordnung (**60**) auf das Messrohr (**10**) einwirkt.

2. Messwandler nach dem vorherigen Anspruch, bei dem das wenigstens eine Koppellement im Betrieb aufgrund von Relativbewegungen des schwingenden Messrohrs (**10**) und des Trägerelements (**20**) wiederholt elastischen Verformungen unterworfen ist.

3. Messwandler nach dem vorherigen Anspruch, bei dem das wenigstens eine Koppellement (**61**) Meßrohr (**10**) und Trägerelement (**20**) federelastisch miteinander verbindet.

4. Messwandler nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem das Messrohr (**10**), insb. dessen Schwingungsform im angeregten Schwingungsmodus, im wesentlichen symmetrisch, insb. rotationssymmetrisch, bezüglich einer in Wirkrichtung der Erregerkraft, F_{exc} , liegenden imaginären Bezugsachse ausgebildet ist.

5. Messwandler nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem das Meßrohr (**10**) im wesentlichen gerade

ist.

6. Messwandler nach dem vorherigen Anspruch, bei dem die Federsteifigkeit, c_{60} , der Koppleranordnung (60) mindestens auf ein 10-faches, insb. auf etwa ein 20-faches, der Federsteifigkeit, c_{10} , des Messrohrs (10) eingestellt ist.

7. Meßwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem das Meßrohr (10) gekrümmt, insb. im wesentlichen S-förmig gebogen, ist.

8. Messwandler nach dem vorherigen Anspruch, bei dem die Federsteifigkeit, c_{60} , der Koppleranordnung mindestens auf ein 0,8-faches einer in Wirkrichtung der Querkraft, Q_0 , wirksamen Federsteifigkeit, c_{10} , des Messrohrs (10) eingestellt ist.

9. Messwandler einem der vorherigen Ansprüche, bei dem das erste Trägerelement (20) eine gleichfalls in Wirkrichtung der Querkraft, Q_0 , wirksame Federsteifigkeit, c_{20} , aufweist, die von der Federsteifigkeit, c_{10} , des Messrohrs (10) verschieden ist.

10. Messwandler nach dem vorherigen Anspruch, bei dem die Federsteifigkeit, c_{10} , des Messrohrs (10) niedriger gewählt als die Federsteifigkeit, c_{20} , des ersten Trägerelements (20).

11. Messwandler nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem eine Gesamtmasse von Messrohr (10) mit darin enthaltenem Fluid niedriger gewählt ist als eine Masse des ersten Trägerelements.

12. Messwandler nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem der angeregte Schwingungsmodus im wesentlichen einem natürlichen Eigenmode des Messrohrs (10) mit der darauf einwirkenden Koppleranordnung (60) entspricht.

13. Messwandler nach dem vorherigen Anspruch, bei dem das vibrierende Messrohr (10) überwiegend eine Schwingungsform mit genau drei Biege-Schwingungsbäuchen einnimmt.

14. Messwandler nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem eine Schwingungsfrequenz der Biege-Schwingungen des Messrohrs (10) im Betrieb stets niedriger gehalten ist, als eine niedrigste mechanische Resonanzfrequenz des Trägerelements (20).

15. Meßwandler nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem sich das erste Trägerelement (20) zumindest abschnittsweise entlang des Messrohrs (10) erstreckt.

16. Meßwandler nach dem vorherigen Anspruch, bei dem das Meßrohr (10) zumindest teilweise vom, insb. im wesentlichen rohrförmig ausgebildeten, ersten Trägerelement (20) umhüllt ist.

17. Meßwandler nach dem vorherigen Anspruch, bei dem das Meßrohr (10) und das erste Trägerelement (20) zueinander im wesentlichen coaxial ausgerichtet sind.

18. Meßwandler nach einem der vorherigen Ansprüche, bei dem das Meßrohr (10) über ein in das Einlassende einmündendes erstes Verbindungsrohrstück (11) und über ein in das Auslassende einmündendes, insb. mit dem ersten Verbindungsrohrstück (11) und/oder mit der Schwingungsachse fluchtendes, zweites Verbindungsrohrstück (12) mit der Rohrleitung kommuniziert.

19. Meßwandler nach dem vorherigen Anspruch, bei dem das erste Trägerelement (20) als einen einlaßseitig und auslaßseitig am Meßrohr (10) fixierter Gegenschwinger (20') ausgebildet ist und bei dem das Meßrohr und das erste Trägerelement (20) über das erste und das zweite Verbindungsrohrstück (11, 12) schwingfähig in einem, insb. als Aufnehmer-Gehäuse ausgebildeten, zweiten Trägerelement (100) aufgehängt sind.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

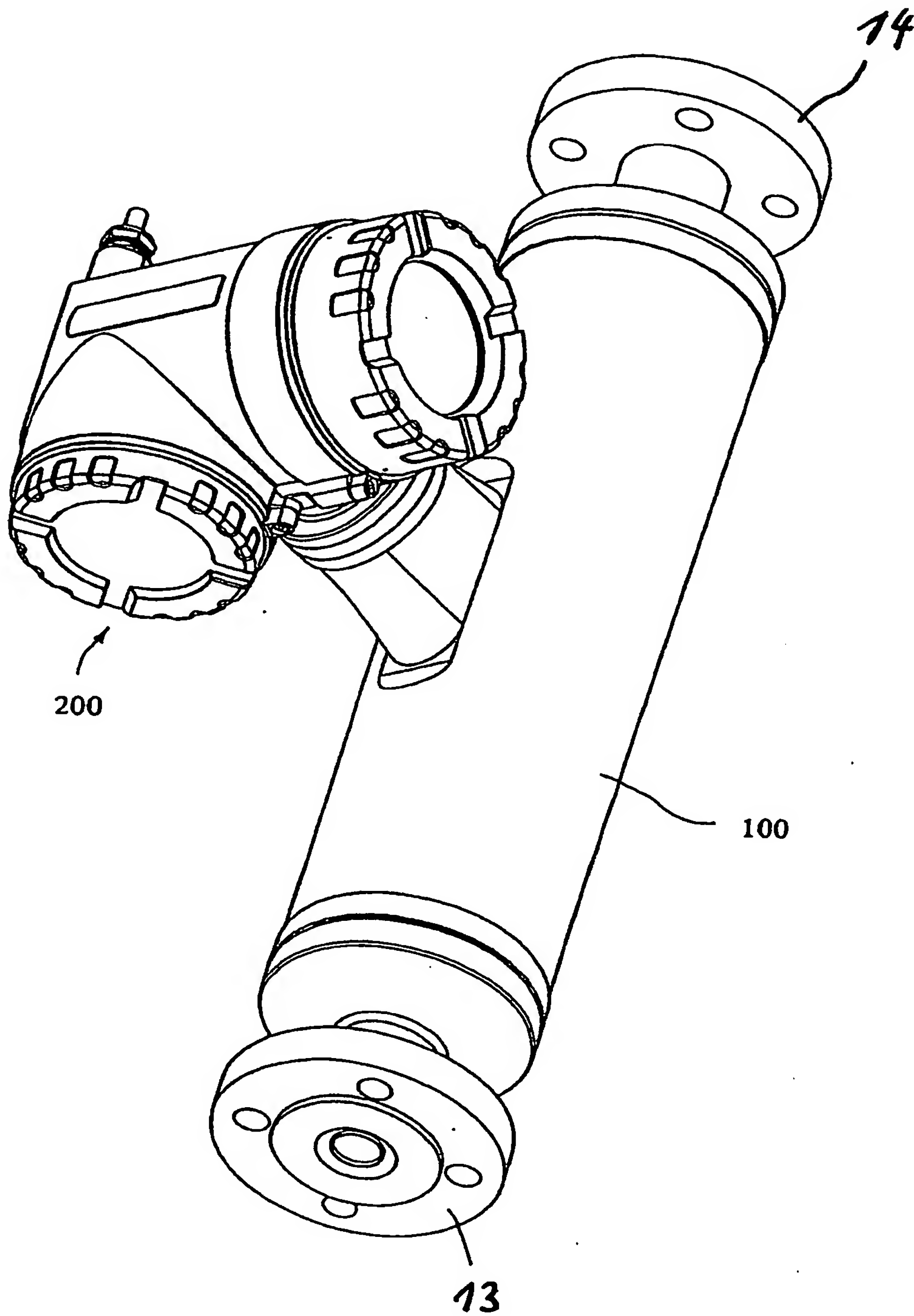


Fig. 1

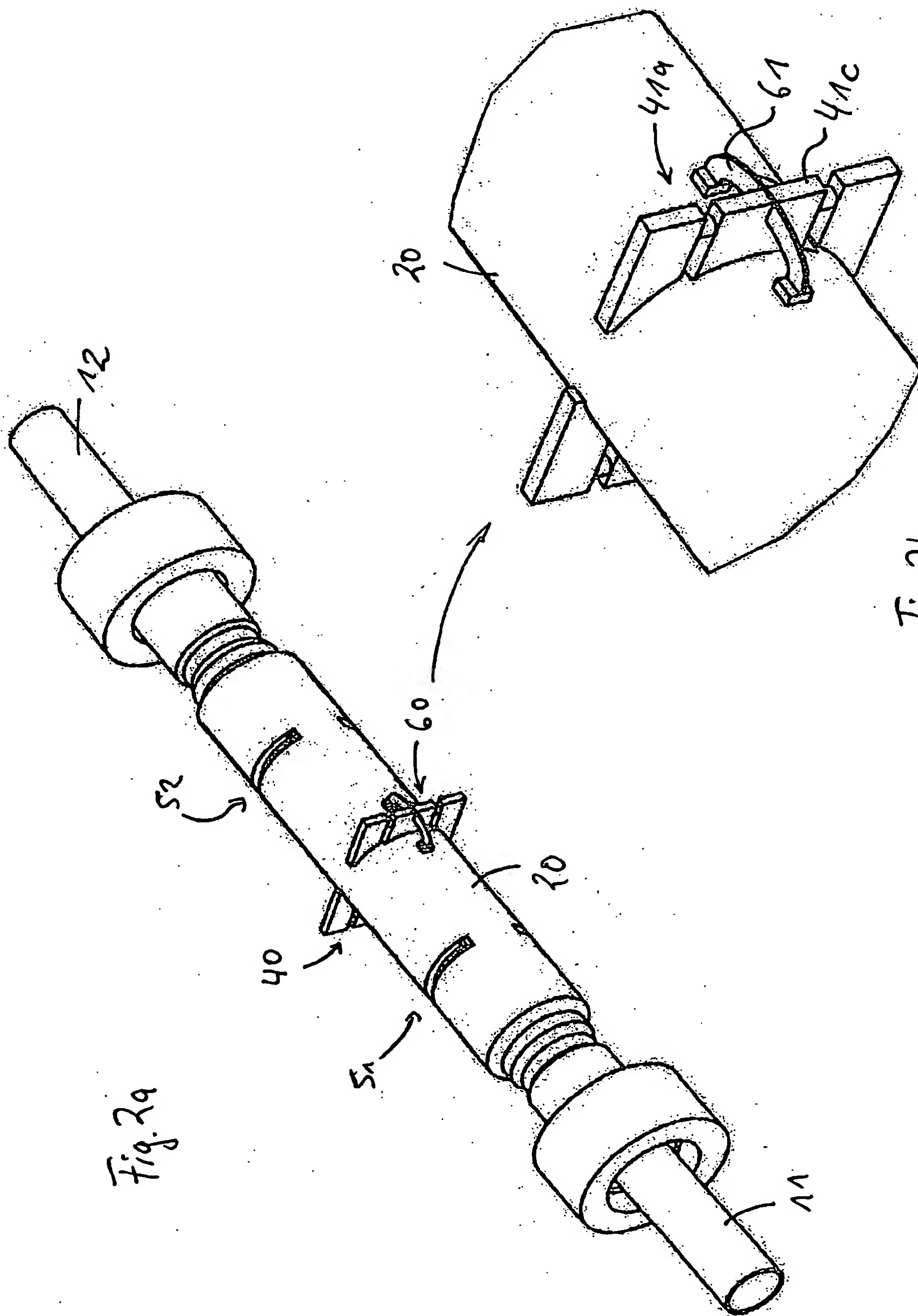


Fig. 2a

Fig. 2b

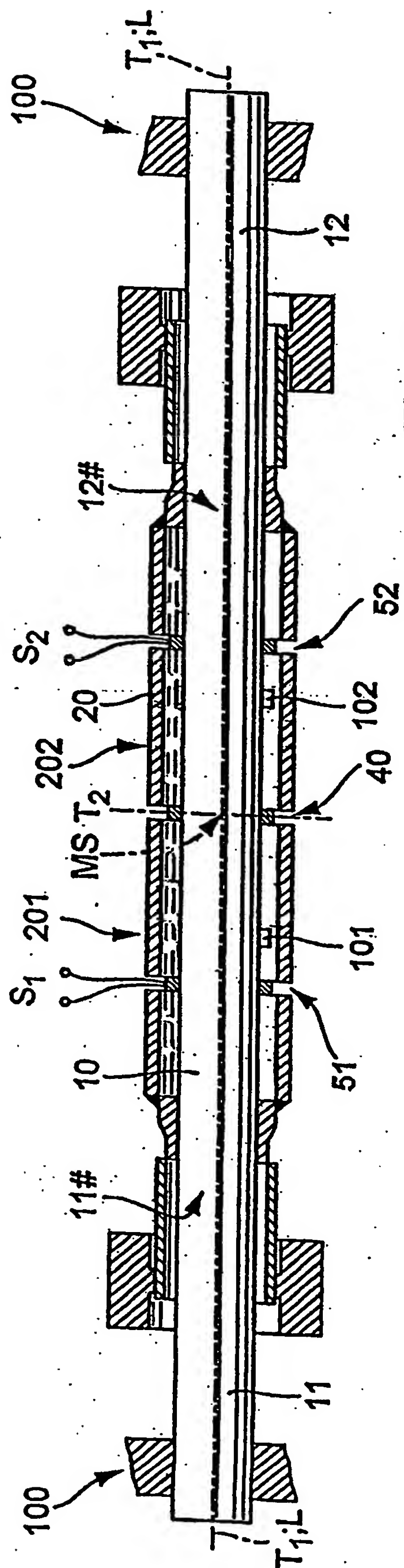


Fig. 3

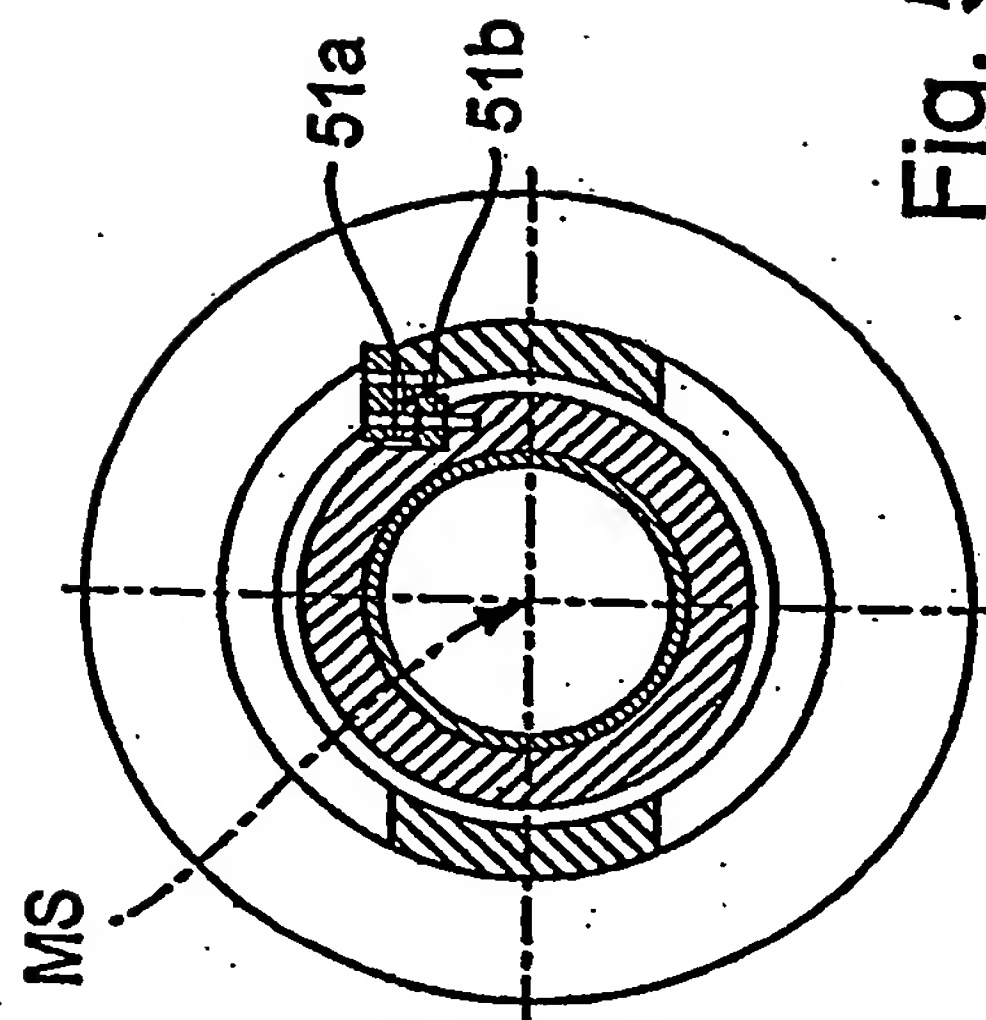
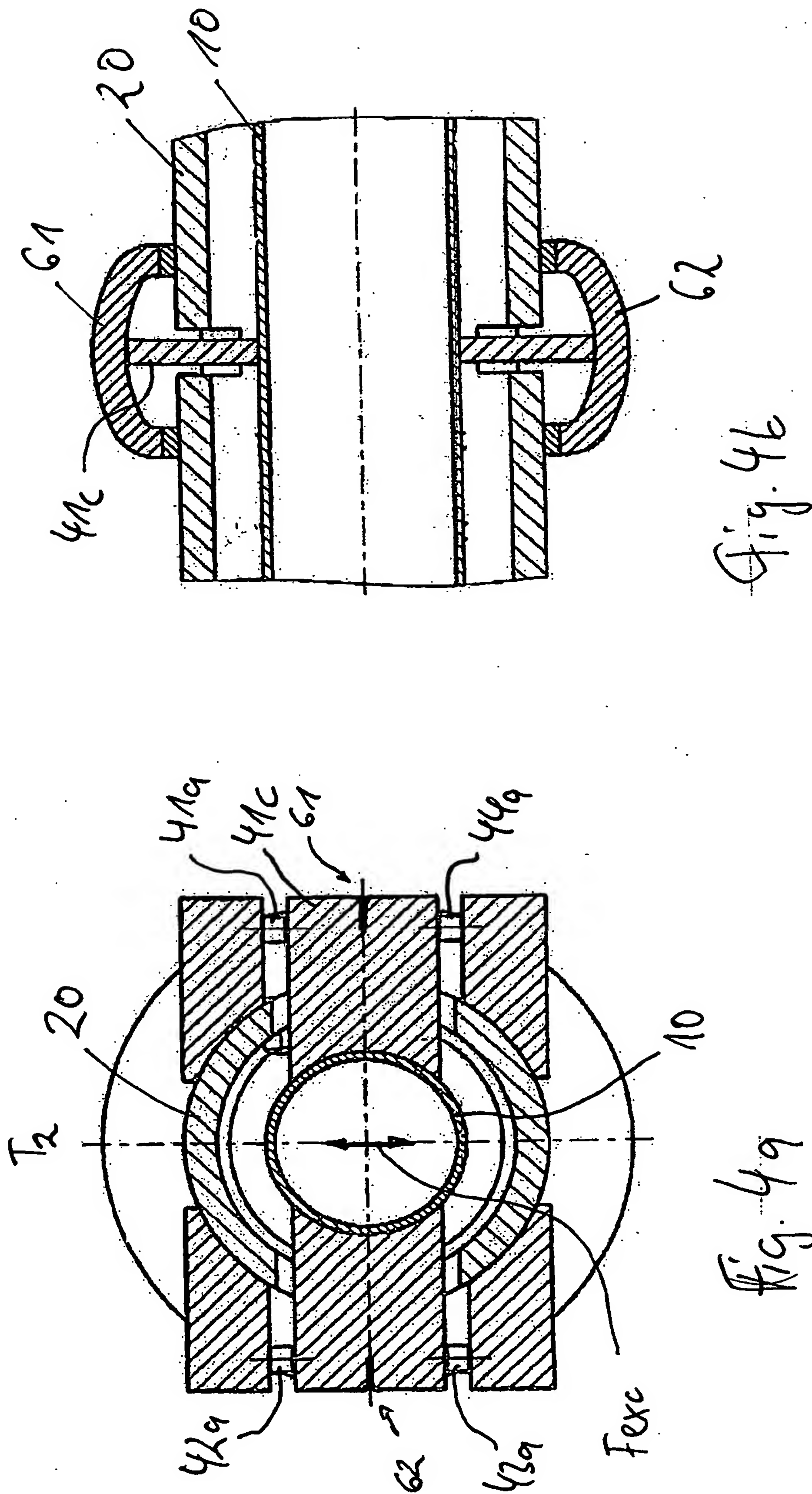


Fig. 5



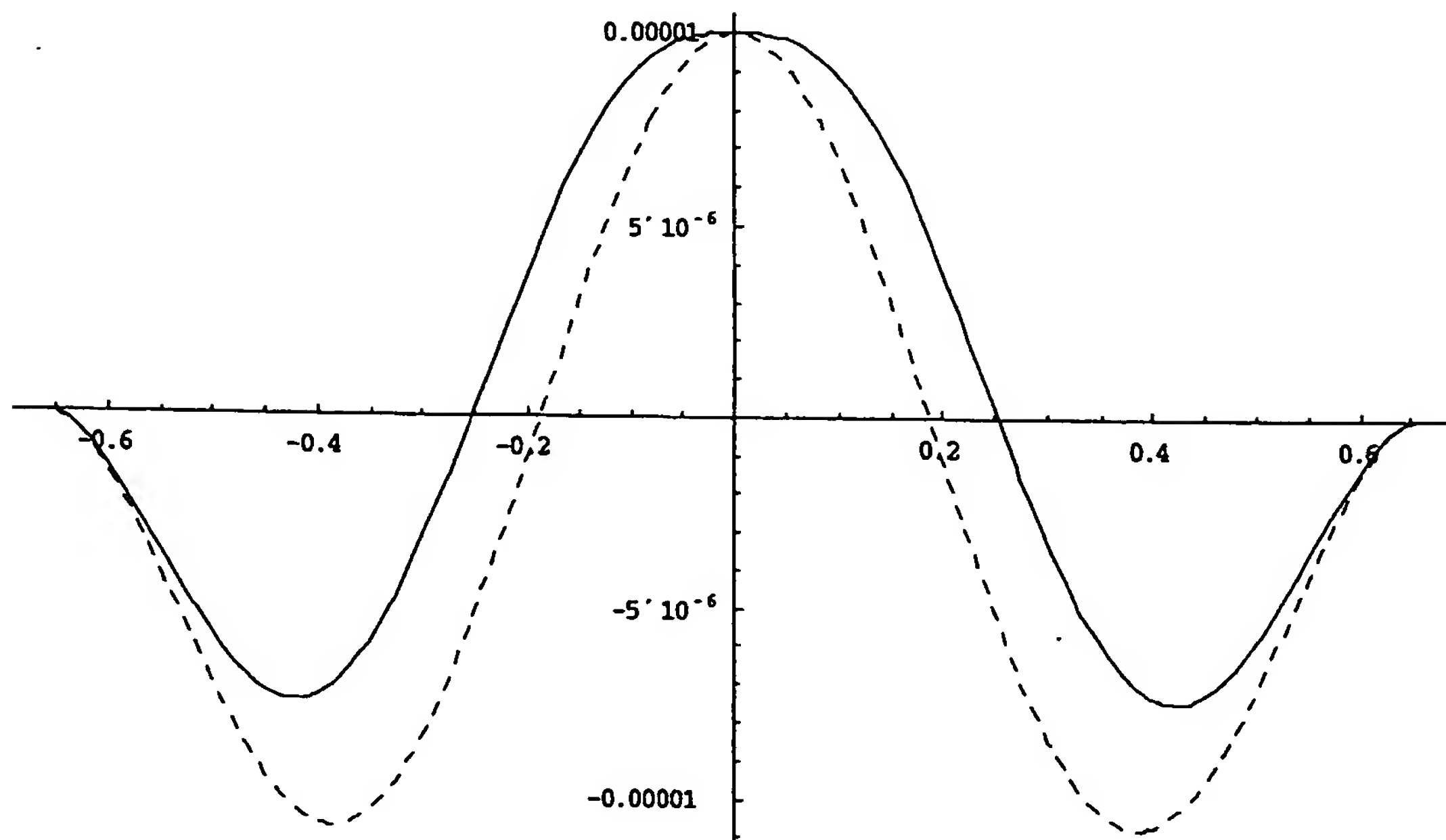


Fig. 6

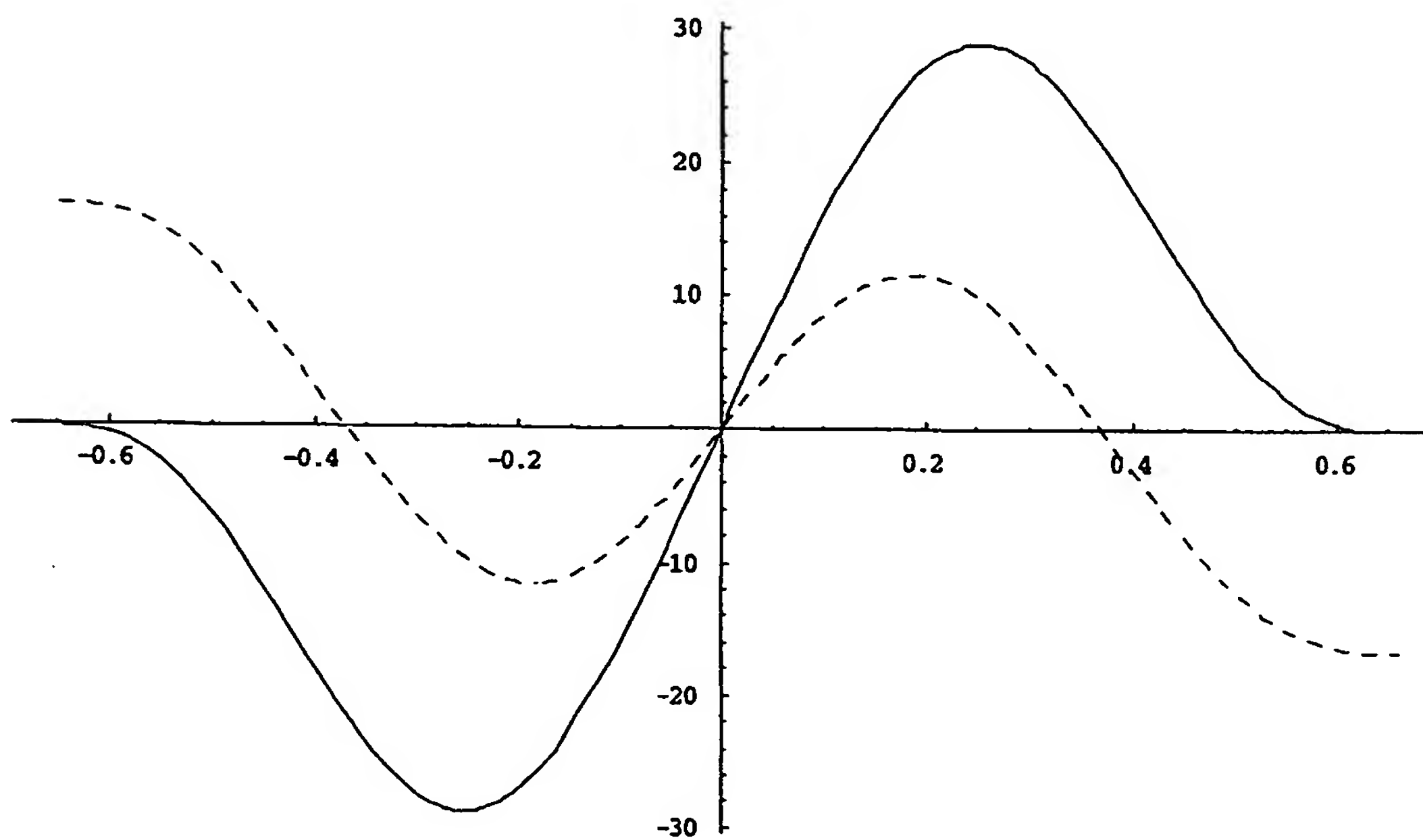


Fig. 7

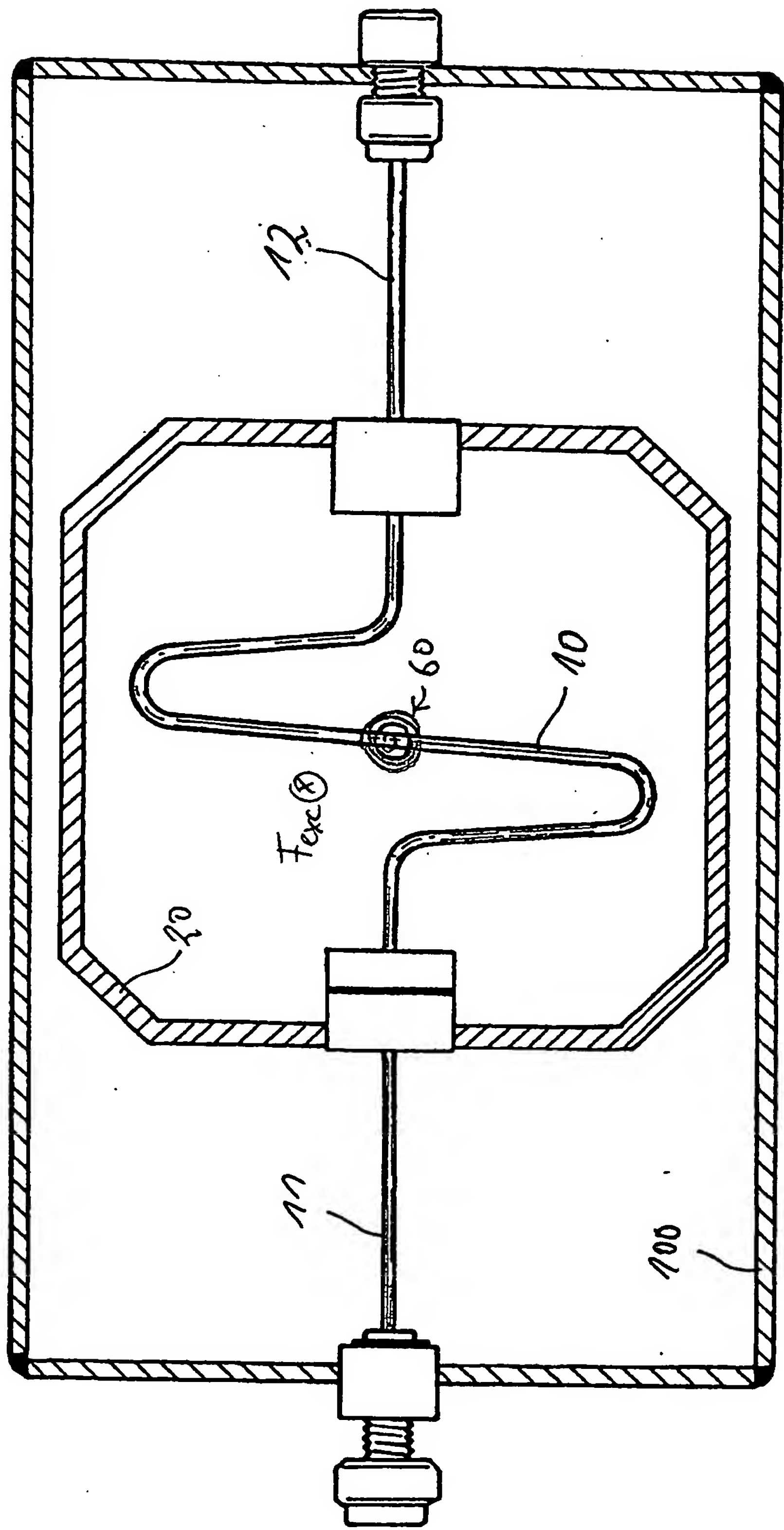


Fig. 8

Fig. 9

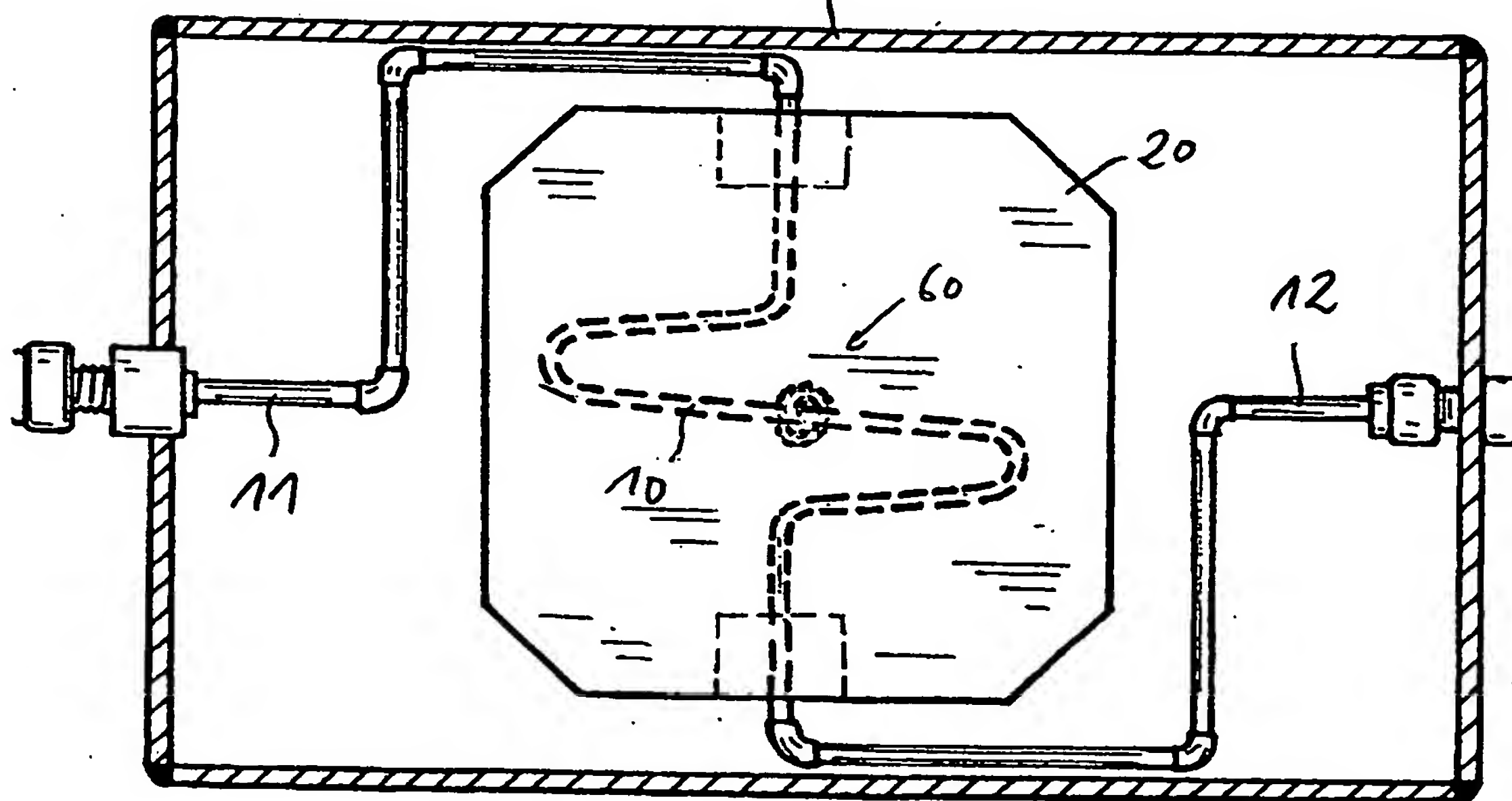
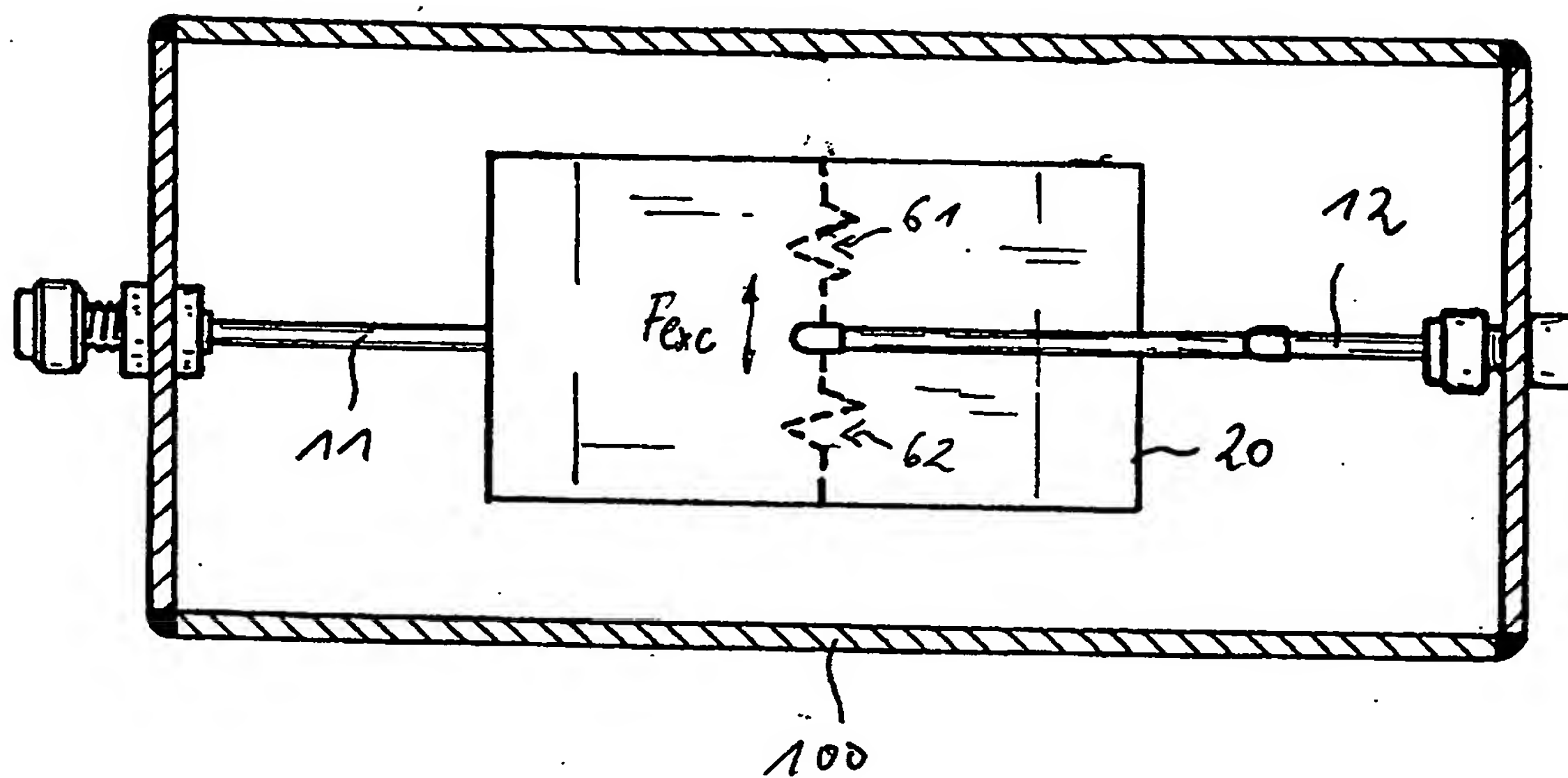


Fig. 10